

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra Mechanické Technologie

Ověření mechanických vlastností galvanických zinkových
povlaků vyloučených z kyselých Zn lázní

Atestation Mechanical Quality Galvanic Zinc Coatings
Outcast from Acid Zn Watering - Place

Student:

Josef Marek

Vedoucí bakalářská práce:

doc. Ing. František Kristofory, CSc.

Ostrava 2009



Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta



Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta



Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu doc. Ing. Františku Kristofory, CSc. za jeho odbornou pomoc, ochotu a vstřícné jednání při zpracování této práce. Dále bych touto cestou chtěl poděkovat Ing. Xenii Ševčíkové, která mi poskytla cenné rady a umožnila provedení praktické části bakalářské práce. Podniku MEP Galvanovna, a.s. za dodání vzorků a za odbornou asistenci. A v neposlední řadě děkuji svým rodičům, kteří mi umožnili studium a byli mi morální oporou po celou dobu studia.



ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MAREK, J. Ověření mechanických vlastností galvanických zinkových povlaků vyloučených z kyselých Zn lázní. Ostrava: katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, Bakalářská práce, vedoucí doc. Ing. František Kristofory, CSc.

Bakalářská práce se zaměřuje na kyselé alkalické lázně, které jsou jednou z hlavních výrobních procesů firmy MEP Postřelmov a.s., a proto jsme se zaměřili na zkoumání mechanických vlastností galvanické ochrany zinkových povlaku vyloučených z kyselých zinkových lázní. Tyto zinkové povlaky byly vytvořeny v podniku MEP Postřelmov. S využitím poznatků v oboru galvanotechniky se volil technologický postup přípravy vzorků, popis zařízení pro povrchové úpravy, upřesnění jednotlivých složení a vlastností kyselých zinkovacích lázní. Experimentální část se zabývá zjišťování mechanických vlastností zinkových povlaků, které zahrnovali přilnavost, tvrdost a abrazi.

ANNOTATION OF THESIS

MAREK, J. Atestation Mechanical Quality Galvanic Zinc Coatings Outcast from Acid Zn Watering – Place. Ostrava: Department of Mechanical Technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2009,
Head: František Kristofory, Prof. Assoc. PhD MSc.

The thesis focuses on acid alcalic baths which are one of the major production processes in MEP Postřelmov company. That is the reason why I have focused on observation of mechanical properties of zircon layers galvanic protection released from acid zircon baths. These zircon layers were created in MEP Postřelmov. Using the knowledge in galvanic technolofy field, a technological process of samples preparation, machinery for layer adjustment and specification of different compositions and properties of acid zinc baths was selected. The experimental part deals with determination of mechanical properties of zircon layers, that included adhesion, solidity and abrasion.



Obsah

Obsah	6
1. Seznam použitých zkratk	9
2. Hodnocení současné situace v galvanovně MEP Postřelmov a.s.	10
2.1. Historie podniku	10
1.1.1. Vznik dceřiných společností	11
1.1.2. Rozmístění linek galvanovny	11
1.2. Současný výrobní program	12
3. Elektrochemické povlakování Zn, povlaky z kyselých lázní, výběr vhodných lázní dle technických listů, stanovení technologických postupů	13
3.1. Vlastnosti zinku a rozdělení lázní	13
3.2. Vlastnosti elektrolyticky vyloučených zinkových povlaků	14
3.3. Vhodná předprava zboží před elektrochemickým povlakováním	15
3.3.1. Omašťování	15
3.3.2. Moření	17
3.4. Zařízení pro galvanické pokovování	19
3.4.1. Použitelné zdroje proudu	19
3.4.2. Anody	20
3.4.3. Katody	20
3.4.4. Závěsy	21
3.4.5. Filtrační zařízení	22
3.4.6. Vany	22
3.5. Zinkovací lázně	23
3.5.1. Kyselé zinkovací lázně	23
3.5.1.1. Silně kyselé zinkovací lázně	23
3.5.1.2. Slabě kyselé lázně	24



EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	26
4. Ověření mechanických vlastností vyloučených povlaků	26
4.1. Složení a označení vzorků	26
4.2. Příprava vzorků pro laboratorní měření	26
4.2.1. Metalografická metoda	26
4.2.2. Broušení	27
4.2.3. Leštění	27
4.3. Metodika měření	28
4.3.1. Vizuální hodnocení	28
4.3.2. Přílnavost	30
4.3.3. Tvrdost Zn povlaků – Vickersova metoda	31
4.3.4. Tloušťka povlaku	33
4.3.5. Odolnost proti korozi v solné mlze	35
4.3.6. Otěruvzdornost – Kulotestr	36
5. Vyhodnocení experimentů.....	39
5.1. Vizuální hodnocení	39
5.2. Zkouška odolnosti povlaku ohybem o 90°	40
5.3. Alternativní aplikace mřížkové zkoušky, pro stanovení kvality přílnavosti	42
5.4. Měření tvrdosti.....	45
5.5. Měření tloušťky.....	46
5.6. Průběh koroze v solné mlze po 48 hodinách	49
5.7. Dokumentace stop opotřebení v návaznosti na otáčky zkušebního tělíska	51
6. Závěr.....	56
7. Seznam použité odborné literatury.....	57



Úvod

Povrchové úpravy ovlivňují jakost výrobku, a proto patří k nezbytné součásti ve strojírenské výrobě. Jakost výrobků nám určuje ochranu součásti proti korozi, vnějšího vzhledu výrobků a v hlavní míře upravují a mění samotné vlastnosti daného základního materiálu, z kterého je součást vyrobena a vede k užité hodnotě. Povrchové úpravy v současné době dosahují značného pokroku, který je ovlivněn ve značné míře automobilovým průmyslem. To vše vede ke zvyšování nároků na výrobky a použití zdrojů materiálů a také zavádění nových technologií. Kvalitní povrchová ochrana nám představuje 5 až 20 % nákladů na výrobek a v tomto důsledku nekvalitní povrchové úpravy znehodnocují výrobek. Povrchové úpravy nám též zvyšují mechanické vlastnosti materiálu, kterými bývá pevnost, tvrdost a odolnost vůči opotřebení. Dosažení potřebných jakostí v povrchových úpravách ovlivňují jednotlivé aspekty, mezi které patří především před úprava samotného povrchu součásti, aby se na povrch mohla nanést požadovaná vrstva povlaku. Dalším aspektem bývá dodržení technologického postupu povrchových úprav a samotné složení lázně.

První část bakalářské práce se zaměřuje na historický vývoj společnosti, její výrobní program a výrobní linky samotného podniku, které jsou rozděleny podle výrobního procesu. Druhá teoretická část je zaměřena na přípravu součásti, výběr zinkovacích lázní a v neposlední řadě výrobním procesem a zařízením pro galvanické pokovení.

Obsahem hlavní části bakalářské práce je experimentální část, kde objasňujeme jednotlivé vlastnosti již dané povrchové úpravy. Zinkové povlaky postupně vystavujeme jednotlivým mechanickým zkouškám užívaných v galvanotechnice. Jednotlivými zkouškami zjišťujeme přínavost, tvrdost a abrazi.



1. Seznam použitých zkratk

L	měřená délka výbrusu.....	[mm]
R	poloměr kotouče.....	[mm]
D ₀	průměr kuličky.....	[mm]
L ₁	odečtené délky probrus.....	[mm]
L ₂	odečtené délky probrus.....	[mm]
d	aritmetický průměr dvou délek úhlopříček d ₁ , d ₂	[mm]
α	úhel odklonu od kolmice (pro kovy obvykle 2°17′).....	[°]
F	zkušební zatížení.....	[N]
HV	mikro, makro tvrdost.....	[-]

2. Hodnocení současné situace v galvanovně MEP Postřelmov a.s.

2.1. Historie podniku

MEP POSTŘELMOV, a.s. je nástupcem společnosti MEZ Postřelmov a patří mezi nejstarší společnosti s elektrotechnickou výrobou v regionu Severní Moravy. Firma byla založena v roce 1931 panem J. Wágnerem z olomoucké firmy, která se zabývala výrobou



Obr. 1 MEP Postřelmov a.s.

přístrojů nízkého napětí, elektrických motorových spouštěčů, odborníků a signálního osvětlení pro letiště a železnice. Od roku 1939 do roku 1945 patřil závod firmě Metzenauer & Jung z Wuppertalu. Během války byla soustředěna výroba z podstatné části na nízkonapěťové přístroje pro armádu. Poválečné začlenění do Moravských elektrotechnických závodů, které sídlilo v Olomouci, trvalo do roku 1947, kdy byl založen národní podnik MEZ Postřelmov. V roce 1950 byl k němu začleněn Závod Zábřeh, jehož základem

byla dřívější firma ALFA Separator. Největšího rozkvětu dosáhla firma v 50. a 60. letech, kdy současně probíhala výstavba základního závodu a pobočného závodu v Zábřehu, a to vybudování slévárny a galvanovny. Podnik se tak postupně stával důležitým článkem v systému průmyslu v tehdejší Československé republice. V současné době hlavní produkci společnosti tvoří výroba elektrických přístrojů a rozvaděčů pro oblast elektrické dopravy, energetiky a strojírenství. Dalším výrobním programem podniku je výroba strojírenských dílů, sestavy, odlitky z hliníkových slitin a povrchové úpravy kovů, zejména zinkování.

[2]

1.1.1. Vznik dceřiných společností

Významným rokem pro MEP POSTŘELMOV a.s. byl rok 2003, kdy se mění holdingová struktura, která se z rozhodnutí akcionářů ustavila v závěru roku 2002. Tohoto roku byly založeny dvě plnohodnotné dceřiné společnosti MEP Galvanovna, a.s. (původní provoz galvanovny společnosti MEP Postřelmov, a.s.) a MEP Slévárna, a.s. (původní provoz slévárny společnosti MEP Postřelmov, a.s.), do nichž byla mateřskou společností vložena aktiva, která přímo nesouvisela s hlavní činností MEP POSTŘELMOV, a to s tradiční výrobou elektropřístrojů. Holdingová struktura také velmi pomohla zprůhlednit vztahy mezi jednotlivými druhy výroby.

1.1.2. Rozmístění linek galvanovny

Zařízení galvanovny je umístěno v průmyslovém areálu MEP Postřelmov, a.s. ve východním okraji města Postřelmov ve dvou halách, a to hale západní a východní, které slouží k povrchovým úpravám kovů a plastů s použitím elektrolytických nebo chemických postupů.



Obr. 2 Výrobní linka



1.2. *Současný výrobní program*

Během několika let došlo v galvanovně k zásadním a hlavně pozitivním změnám v rozsahu provozovaných technologií a také ochraně životního prostředí. Za největší, a tudíž nejvýznamnější změnu, lze považovat přechod od kyanidového zinkování na bezkyanidové techniky a ukončení kadmiování a chromování. Z pohledu ochrany zdraví lidí a aspektů složek ochrany životního prostředí lze tyto kroky hodnotit velmi příznivě, neboť tím došlo k velmi významnému snížení množství a druhů nebezpečných chemických látek.

Dnešním výrobním program galvanovny, která patří mezi nejvýznamnější zakázková zařízení svého druhu v České republice, se převážně zaměřuje na technologie povrchových úprav součástek pro automobilový, elektrotechnický a spotřební průmysl.

Provádí se:

- Ø Zinkování - kyselé závěsové zinkování, chromát modrý nebo žlutý, utěšňovací transparentní lak, alkalické závěsové slitinové zinkování s legurou niklu a s legurou železa, chromát černý speciál, chromát transparentní speciál, utěšňovací akrylátový nebo silikátový transparentní lak, alkalické závěsové zinkování, chromát modrý bez obsahu trojmocného chromu (slabá pasivace) nebo náhrada žlutého chromátu bez obsahu šestimocného chromu (silná pasivace), utěšňovací transparentní silikátový lak, olivové chromátování
- Ø Fosfátování – závěsové, hromadné, jemné, hrubé, manganové, speciální fosfátování železa v kombinaci s pryží
- Ø Mědění – alkalické kyanidové, závěsové, hromadné
- Ø Niklování – závěsové, hromadné (elektrolytické)
- Ø Cínování – pro potravinářský průmysl, závěsové, hromadné
- Ø Stříbření – kyanidové, závěsové, hromadné
- Ø Chemická oxidace – hliníku a jeho slitin
- Ø Černění – železa a oceli;
- Ø Moření nerezí



3. Elektrochemické povlakování Zn, povlaky z kyselých lázní, výběr vhodných lázní dle technických listů, stanovení technologických postupů

Elektrolytickým (galvanickým) zinkováním se upravuje značná část ocelových povrchů určených pro galvanické pokovování. V současnosti vylučování povlakových systémů na bázi zinku velmi vzrůstá. Je to způsobeno hlavně kvalitativními změnami technologie, zinkování probíhají rychleji než v jiných oborech galvanotechniky. Automobilový průmysl určuje hlavní směr v galvanotechnice, přičemž v současné době přestal používat složité povlakové systémy Cu-Ni-Cr, a směřuje hlavně k zinkování. Zinkování tudíž převzalo velkou část povrchových úprav. U nových procesů vyžadujeme vyšších korozní odolnosti a zvyšování dekorativního vzhledu po dlouhou dobu expozice v agresivních provozních podmínkách.

Při galvanickém zinkování musí být celá technologie procesu volena tak, aby nepříznivě neovlivnila pokovení oceli. Mohlo by se to projevit pronikavým snížením houževnatosti a pokovená ocel by se jevila jako silně zkřehnutá a při poměrně malém mechanickém namáhání pokovených součástí by docházelo k lomu. Vodíková křehkost se vyskytuje při elektrolytickém pokovení ocelí zušlechťených na pevnost R_m 1000 MPa včetně pevnostní třídy 10.9 a výše, anebo u součástí s tvrdostmi nad 320 HV.

3.1. *Vlastnosti zinku a rozdělení lázní*

Zinek je velice reaktivní kov, z čehož vyplívají pro jeho užívání v galvanotechnice podstatné charakteristické vlastnosti. Hlavní nevýhodou je jeho poměrně malá tvrdost. Jeho postavení v řadě napětí kovů vzhledem k železu je z hlediska ochrany ocelového povrchu velmi výhodné. [3]



Hlavní fyzikální vlastnosti zinku:

Ø hustota	7,13 g cm ⁻³
Ø relativní atomová hmotnost	65,37
Ø bod tání	419°C
Ø formální mocenství	2
Ø elektrochemický ekvivalent	1,22 g A h ⁻¹
Ø elektrochemický potenciál	-0,76V

Kyselé Lázně:

- Ø Slabě kyselé lázně
- Ø Silně kyselé lázně

3.2. *Vlastnosti elektrolyticky vyloučených zinkových povlaků*

Zinek se ve spojení s železem chová jako anoda, a proto se zinkové povlaky využívají k ochraně ocelových součástí. Zinek přechází ve styku s železem do roztoku a tvoří na železe ochranný povlak. Použití zinkových povlaků je vymezeno rozdílem elektrochemického potenciálu zinku a železa a schopností zinku pokrývat se vrstvou kysličníku a uhličitanu zinečnatého, která brzdí další korozi, nebo jí zabráňuje. Zinkové povlaky se vylučují na ocelové součásti, u kterých potřebujeme zvýšit ochranu proti korozi, nikoliv za účelem dekorativním.

Vliv různých atmosferických prostředí působí na zinkové povlaky rozdílným způsobem. Působením běžné venkovní atmosféry je zinek napadán zcela nepatrně, kdežto mořská voda a průmyslové exhaláty jej značně korodují.

Působením kysličníku siřičitého, který vlivem vzdušného kyslíku a vody přechází na kyselinu sírovou, jsou zinkové povlaky napadány velmi silně. Pokud bereme v potaz atmosférickou korozi, zinková vrstva se za rok ve venkovské atmosféře zmenší o 1,0 až 3,4 μm, v městské atmosféře dosahuje hodnot 1,0 až 6,0 μm, v průmyslové 3,8 až 19,0 μm a v mořské 2,4 až 15,0 μm.

Životnost zinkových povlaků lze ještě zvýšit chromátováním nebo fosfátováním. Kromě klasické oblasti použití zinkových povlaků jako ochranných povlaků, kde záleží převážně na korozní odolnosti povlaků, se významně rozšiřuje oblast ozdobně-ochranného zinkování, zejména v souvislosti s rozvojem nových leskle pracujících zinkovacích elektrolytů. Zinkové povlaky s konverzní úpravou chromátováním, která zlepšuje vzhled



a oddaluje počátek vzniku prvních korozních zplodin zinku, nahrazuje dříve velmi rozšířené niklování, popřípadě povlakový systém nikl-chrom, na výrobcích určených pro málo korozně agresivní prostředí. [3]

3.3. *Vhodná předprava zboží před elektrochemickým povlakováním*

Pro získání kvalitního a trvanlivého povlaku nebo vrstvy s odpovídajícími vlastnostmi je velmi důležitou podmínkou příprava povrchu součásti před samotným pokovením. Hlavním důvodem je znečištění povrchu kovu zčásti látkami vázanými k povrchu mechanicky (zbytky past, mastnoty, prach) a zčásti látkami vázanými chemicky (oxidy, rez, okuje).

Hlavní technologické postupy přípravy vzorku patří odmaštění, moření a mechanické úpravy povrchu. Mezi nimi je zahrnut oplach jak teplou, tak studenou vodou.

3.3.1. *Odmašťování*

Odmašťování je velmi důležitá operace, při které se odstraňují tuky, prachové částice, zbytků po tryskání, kovové třísky a vody. Nečistoty jsou vázány fyzikální adsorpcí a adhezními silami. Jejich společnou vlastností je nerozpustnost ve vodě, ale dobrá rozpustnost v některých organických rozpustidlech. Pomocí vhodných emulgátorů je možné tyto nečistoty odstranit z povrchu vodnými roztoky ve formě emulze.

Rozdělení podle použitého prostředku:

- Ø V alkalických roztocích
- Ø V organických rozpouštědlech
- Ø Elektrolytickým odmašťováním
- Ø V neutrálních roztocích
- Ø Emulzním odmašťováním
- Ø Opalováním
- Ø Vysokotlaké kapalinné

Alkalické odmašťování:

Mastné kyseliny se neutralizují a přejdou do roztoku jako rozpustná mýdla. Tento druh odmašťování se používá u rostlinných a živočišných tuků. U minerálních mastnot, kterými jsou oleje, vazelíny a vosky, probíhá odmašťování složitěji, a to hlavně z důvodu, že se tyto nečistoty nezmýdelňují. Odmašťování probíhá za zvýšených teplot. Teplota roztoku při ponorném odmašťování ocele je 80°C, při postřiku 60°C a u lehkých a barevných kovů 70°C.



Obr. 3 Alkalické odmašťování

V organických rozpouštědlech:

Použití hlavně u barevných kovů, kde nemůžeme použít alkalické roztoky. Odmašťování je rychlé, vhodné pro členité součásti s hrubými vrstvy olejů a tuků. Organická rozpouštědla by měli být stálé, nejedovaté, nehořlavé a lehce regenerovatelné. Nejčastěji se používá trichloretylén, který je nehořlavý, velmi dobře rozpouští mastnoty, vosky, asphalt a dehet.

Elektrolytické odmašťování:

Elektrolytickým odmašťováním se docílí nejlepších odmašťovacích účinků, a proto se používá především u galvanického pokovení. Provádí se v ocelových vanách vyložených sklem. Metoda je založena na elektrolýze, kde nejúčinnější je katodicko-



anodické odmašťování. Předmět se kratší dobu odmašťuje na anodě a delší na katodě, poměr těchto časů bývá 3 : 1.

Používají se dva základní druhy lázní, a to kyanidové a bezkyanidové.

U kyanidových lázní je velmi vysoká účinnost, ale je prudce jedovatá, a také obtížnost neutralizace se stává velkou nevýhodou. Pracovní teplota lázně je

18 – 20° C, proudová hustota 5 – 8 A/dm². Bezkyanidové lázně jsou vhodné jak pro ocelové výrobky, tak mosazné a měděné. Pracují při teplotě 80°C a proudových hustotách 20 – 30 A/dm².

Odmašťování opalováním:

Předmět se opaluje teplotou 300 – 700°C, při těchto teplotách se mastnoty spálí na plynné zplodiny. Vzniklé oxidické vrstvy se odstraní mořením nebo otryskáním.

Vysokotlaké kapalinné odmašťování:

Tato technologie je založena na působení vysokého proudu vody o vysokém tlaku až 60 MPa. Používá se voda s přísadami různých inhibitorů. Hlavní výhodou je méně náročné čištění odpadních vod a vysoká účinnost odmašťování. Je vhodná pro odmašťování velkých ploch.

3.3.2. Moření

Mořením kovů rozumíme odstraňování korozních zplodin s povrchu chemickým způsobem. Mezi nejčastěji používané prostředky jsou roztoky různých kyselin, které odstraňují korozní zplodiny rozpouštěním, tj. převedením na sůl rozpustnou v mořicí lázni. Volba lázně závisí hlavně na druhu mořeného materiálu.

Nejčastěji používané kyseliny pro moření:

Kyselina sírová – H₂SO₄

Nejčastěji se používá kyselina sírová o koncepci 10 – 20%, při pracovní teplotě 40 - 70°C pro ocel a barevné kovy. Délka trvání moření je závislá na složení a tloušťce okují – pohybuje se v rozmezí 10 – 30 minut. Kyselina sírová rozpouští ocel rychleji než okuje a z okují nejrychleji jejich spodní vrstvy. Proces moření proto probíhá hlavně tak, že kyselina proniká póry okujové vrstvy k podkladu a okuje podleptává povlak a vodík, který je uvolňován svým tlakem a tím podporuje odtrhávání lidické vrstvy. Hlavní

nevýhodou je nepříznivý vliv vodíku, který nám způsobuje křehnutí (tzv. vodíková křehkost) a má nepříznivý vliv na povrchové úpravy. Pokud dosáhne lázeň koncentrace Fe 90g/l, je nutné tuto lázeň vyměnit.

Kyselina chlorovodíková – HCl

Kyselina se opět používá v koncentraci 10 – 20 %, zejména pro ocel a hliník. Moření se provádí buď za normálních teplot, u automatizovaných provozů se pracuje při teplotě 70°C.



Obr. 4 Moření v HCl

Výhod v porovnání s kyselinou sírovou:

- Ø moření je rychlejší
- Ø ocelový podklad je méně napadán
- Ø povrch je čistší
- Ø lázeň není často nutno zahřívat
- Ø vyčerpaná lázeň se snáze regeneruje.



Závažné nevýhody:

- Ø náklady na kyselinu jsou vyšší
- Ø z lázně unikající chlorovodík obtěžuje obsluhu a způsobuje korozi okolních zařízení.

Z tohoto důvodu se kyselina chlorovodíková používá přednostně ve velkých provozech, kde je důležitá délka moření.

Kyselina fosforečná – HF

Kyselina fosforečná se používá v koncentraci 15% při teplotách 60 – 80°C. Zvýšená teplota na 80°C způsobuje značnou korozi oceli.

Výhody:

- Ø nedochází ke korozním výparům
- Ø pasivace vůči oceli

Nevýhody oproti kyselině sírové:

- Ø Značně vysoká cena – až dvojnásobná

3.4. Zařízení pro galvanické pokovování

3.4.1. Použitelné zdroje proudu

Dříve používaným zdrojem energie bývala dynama, které byly charakterizovány jako "tvrdé zdroje" (tj. s malým poklesem napětí při zatížení) s velmi malým zvlněním. Jejich značnou nevýhodou však byla energetická náročnost. Jednak docházelo ke ztrátám nižší účinností soustavy (tření ap.), hlavně však byla velmi omezena možnost napěťové regulace. Potřebného snížení napětí anoda – katoda bylo dosahováno zařazením proměnného ohmického odporu. Tak byla značná část elektrické energie degradována na teplo což způsobovalo značné ztráty.

Další rozvoj umožnil používání výkonových diod usměrňovat proudy střídavé, dalším zlepšením pak byla tyristorová regulace umožňující volit v určeném rozmezí výstupní napětí usměrňovače. Zdroje regulované tyristory se však vyznačují tím, že při provozu ve zlomech jmenovitého výkonu stoupá podíl střídavé složky ve výstupním proudu, a to tím více, čím nižšího výkonu je používáno. Ani u zdrojů modulovaných

amplitudově (používajících pouze diod k usměrnění nemusí být střídavá složka zanedbatelná.

Z hlediska charakteru proudových změn můžeme proudové procesy rozdělit:

Ø s reverzováním proudu:

- patří mezi nejstarší způsoby, její realizace bylo možno užít pomocí různých reléových a stykačových systémů.

Ø s pulzním proudem

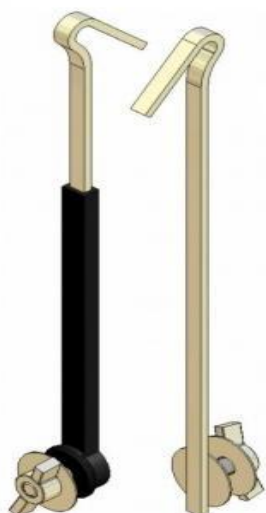
- jsou velmi aktuální – druhy použitelných pulzů jsou v dva – obdélníkový a pilový. Mezi hlavní výhody patří možnost zlepšení hloubkového účinku, omezení drsnosti vyloučené vrstvy, příp. její pórovitosti.

Ø se superponovanou střídavou složkou

- tento způsob je méně náročný než předchozí, vhodný signál lze získat z tónového generátoru, tento způsob ovlivňuje hlavně zlepšení drsnosti povrchu vyloučených kovů.

3.4.2. Anody

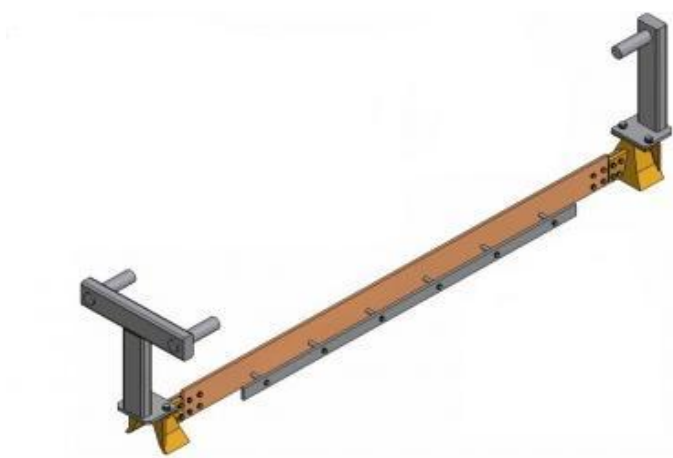
Jsou zpravidla deskového tvaru, zavěšené na tyče za okraj vany. Pro pokovování složitých profilovaných povrchů se upravují anody do negativního profilu katod nebo se rovnoměrnost vylučování zabezpečuje rozmístěním ponorných anod. Rychle rozpustné anody se obalují do textilních vaků, aby odcházející kal neznečišťoval lázeň.



Obr. 5 Ukázka anodového závěsu

3.4.3. Katody

Katodové tyče jsou nedílnou součástí procesu galvanického pokovování. Slouží k přenosu zboží na lince. Jsou osazeny vlastními závěsy, na které se věší dílce.



Obr. 6 Příklad katodové tyče s tříbodovým zavěšením

pomocí šroubového spojení. Tyče jsou ukončeny dle použitých dosedacích lůžek a ukončení zdvihacího ramena manipulátoru. Základními typy zakončení katodových tyčí jsou nožové nebo klínové.

Katodové tyče se vyrábí z mědi pro její velmi dobré elektrovodné vlastnosti. Průřez katodové tyče se volí s ohledem na požadovaný průchod proudu, konce jsou v délce 100mm upraveny dle druhu zakončení. Při větších délkách katodových tyčí se

využívají pro zvýšení tuhosti nerezové výztuhy, které jsou připevněny na katodovou tyč

3.4.4. Závěsy



Obr. 7 Závěsové pokovení

Pro drobné výrobky se používá především pokovovacích a zvonů. Nevýhodou zvonového uspořádání je nutnost přípravy čerstvé lázně pro každou dávku. Mezi nejvhodnější hromadné způsoby pokovení drobných součástí patří vkládání do bubnů, které můžeme převážet mezi vanami v potřebném technologickém sledu. V hromadné výrobě se používají automatické linky, kde předměty na hromadných závěsech přecházejí v automatizovaném taktu z lázně do lázně. Dle stupně sériovosti

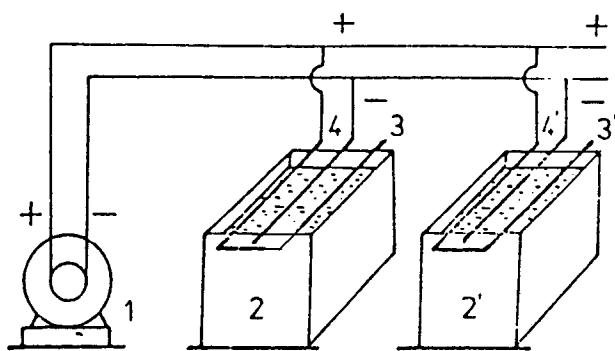
pokovovaných předmětů a druhů pokovení mohou být linky ovládány ručně, nebo řízeny automaticky různými pokovovacími programy. Mohou být tedy stavěny linky jednoúčelové (pro jeden typ pokovení a předmětu) i linky, kde je možno kombinovat řadu technologií a druhů pokovovaných součástí.

3.4.5. Filtrační zařízení

Pro filtraci galvanických lázní se používají speciální filtrační aparáty, jejichž všechny součásti přicházející do styku s filtrovaným elektrolytem musí bezpečně odolávat agresivním roztokům. Z toho důvodu je i čerpadlo takového zařízení kameninové. Elektrolyt je čerpán přes řadu vložek z plastické hmoty, které jsou umístěny ve skleněném válci. Mezi vložkami jsou plachetky z umělé tkaniny, příp. filtračního papíru.

3.4.6. Vany

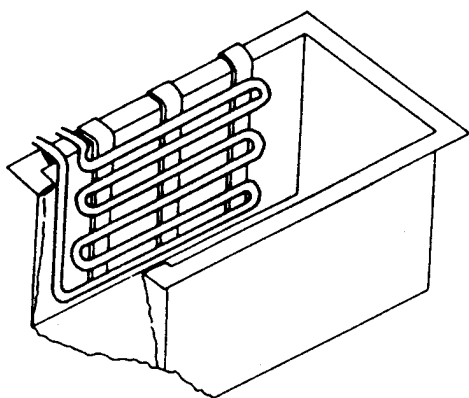
Galvanické vany musí být přizpůsobeny svojí konstrukcí ke složení lázně. Vany mohou být jak dřevěné a kameninové, tak i ocelové, které byly dříve vyložené olovem, plastickou



Obr. 8 Zapojení van při galvanickém pokovení – 1. Dynamo, 2, 2' - vany, 3, 3' - anodové tyče, 4, 4' - katodové tyče

hmotou, pryží apod. Pro rozměrnější výrobky se používají též vany betonové, vyložené kyselinovzdornými dlaždicemi spojenými asfaltovými smolami. K vytápění, popřípadě ochlazování van, se používají články ponořené do lázně (viz. Obr 2.6.1.). Vany bývají především vytápěné elektricky, popřípadě

parou. Samotné míchání lázně se zajišťuje vzduchem, prouděním elektrolytu nebo pohybem součástí na katodových tyčích.



Obr. 9 Schéma vytápění galvanické vany topným článkem

Pro sériovou výrobu bývají používány kruhové vany, kde se předměty zavěšují na otáčející se katodové tyče. Jedním průchodem lázně se předměty pokovují, a pak snímají z katodových tyčí.

Při sériové výrobě se používají pokovovací linky, jednotlivé vany jsou uspořádány za sebou v přímce nebo v kruhu, popřípadě v elipse. Doprava je provedena speciálním dopravníkem, který je programově řízen.

3.5. Zinkovací lázně

3.5.1. Kyselé zinkovací lázně

Zinek má v elektrochemické řadě napětí o více než 0,7 V negativnější potenciál než vodík, tudíž by se měl nejdříve z lázně vylučovat vodík. Přednostní vylučování zinku je však umožněno velkým přepětím vodíku na zinku. Proto můžeme vylučovat zinek i z velmi kyselých roztoků jednoduchých solí, kterými jsou například síran zinečnatý. Roztok však nesmí obsahovat kovové nečistoty, protože i velmi malé množství kovů (železa, niklu, kobaltu), způsobí snížení přepětí vodíku na zinku, a tím se zmenší katodový proudový výtěžek. Pokud jsou lázně čisté, zinek se z kyselých lázní vylučuje téměř bez polarizace.

3.5.1.1. Silně kyselé zinkovací lázně

Tyto lázně pracují při vysokých proudových hustotách. Nositelem kovu je síran zinečnatý, vodivost lázně se upravuje kyselinou sírovou. Lázně jsou vhodné pro zinkovací automaty, pro pokovování pásů, drátů. Pro běžné zinkování se nepoužívají pro velmi nízkou hloubkovou účinnost. Vyloučené povlaky bez leskutvorných přísad jsou matné a hrubé.

3.5.1.2. Slabě kyselé lázně

Prvním průmyslově využívaným typem kyselých elektrolytů pro zinkování byly lázně pro kontinuální pokovení ocelových polotovarů na bázi síranu nebo chloridu zinečnatého. Pro zjemnění zrna povlaků používaly přísady hlinitých solí. Pracovali s velmi nízkou hloubkovou účinností, která byla při kontinuálních procesech vhodná. Dosahovali pH 3. V dnešní době se stále využívají při pokovení ocelových pásů.

Další používané slabě kyselé zinkovací lázně byly připraveny z chloridu zinečnatého, chloridu amonného a síranu zinečnatého. Zinek byl vázán v lázních ve formě amokomplexů a chlorokomplexů. Mezi další složky patřil tlumič pH a základní leskutvorné přísady – neionogenní tenzidy. Hlavní problém těchto lázní vznikl při neutralizaci odpadních vod. Amonné ionty obsažené v lázni snadno tvoří stabilní komplexy s niklem a mědí a tyto komplexy pak projdou neutralizační stanicí, aniž se těžké kovy vysrážejí. Z tohoto důvodu se nesmí míchat odpadní vody ze slabě kyselých lázní s amonnými ionty spolu s kyselými vodami obsahujícími nikl a měď. Jejich likvidace se musí provádět odděleně. Amokomplexy zinku, obsažené v původních slabě kyselých lázních, se již používají jen zřídka.



Obr. 10 Slabě kyselé Lázeň

V nových typech slabě kyselých zinkovacích lázní se zinek vylučuje ze slabých chlorokomplexů. Hlavními složkami jsou: tlumič pH, kyselina boritá, soli organických



karboxylových kyselin a lesotvorné přísady. Základní přísady umožňují vylučování matných až pololesklých zinkových povlaků od velmi nízkých proudových hustot až po 6 - 8 A/dm², zjemňují zrno vylučovaného zinku a zlepšují hloubkovou účinnost elektrolytu. Fungují zároveň jako solubilizátor vlastních leskutvorných přísad, které jsou ve vodě nerozpustné. U nejmodernějších typů slabě kyselých lázní tenzidové směsi zvyšují bod zákalu a snižují pěnivost lázně, a tím dosahujeme vyšší stability při zvýšených pracovních teplotách. Jsou to neionogenní a anionaktivní tenzidy a povrchově aktivní látky. Ketony zvyšují lesk, zobrazivost a vyrovnávací schopnost.

Slabě kyselé lázně nám dodávají nejkvalitnější vzhledový povlak ze všech zinkovacích elektrolytů. Katodový proudový výtěžek je v celém rozsahu použitelných proudových hustot vyšší než 95 %. Společně s vysokými průměrnými proudovými hustotami dosahujeme velkých vylučovacích rychlostí nad 1 μm/min. Nízký vývoj vodíku omezuje nebezpečí vzniku vodíkové křehkosti u pevných a velmi pevných ocelí. Velmi snadno pokovujeme v lázních litinu, protože vylučují zinek s nízkým přepětím. Velmi příznivé ze všech zinkovacích lázní, z hygienického hlediska, je pracovní pH, které dosahuje hodnot 4,5-5. K dalším výhodám patří poměrně dobrá hloubková účinnost, provozní spolehlivost, snadná oplachovatelnost zboží, nízké náklady na provoz a nasazení lázně. Mezi nevýhody můžeme zahrnout větší nároky na čistotu pokovovaného zboží, citlivost lázně na ionty těžkých kovů (Pb, Cu, Cd, Cr, Fe). Pro provoz je nutné kyselinovzdorné zařízení přicházející do styku s lázní. Agresivita lázně k oceli způsobuje někdy problémy při pokovení předmětů s kapilárními štěrbinami, protože neopláchnutelné zbytky lázně v kapilárách způsobují korozi železa. Nepřítomnost amonných iontů však umožňuje míchání odpadních oplachových vod s vodami obsahujícími měď a nikl. Lázně jsou vhodné jak pro závěsové, tak hromadné pokovení. Slabě kyselé lázně jsou dnes nejrozšířenější technologií galvanického zinkování. [7]

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4. Ověření mechanických vlastností vyloučených povlaků

4.1. Složení a označení vzorků

Vzorky byly vytvořeny a označeny podle normy VW 137 50

<i>Druh ochrany</i>	<i>Složení</i>
C610	Nelegovaný zinkový povlak; bez dodatečné úpravy; stříbřitě lesklý; bez pasivace
C640	Nelegovaný zinkový povlak; pasivace s tenkou vrstvou; bez šestimocného chromu
C642	Nelegovaný zinkový povlak; pasivace se silnou vrstvou; modravě, zeleně, červeně, žlutě irizující

Tab. 2. Označení vzorků

4.2. Příprava vzorků pro laboratorní měření

4.2.1. Metalografická metoda

Příprava kolmého výbrusu za tepla a tlaku. Vzorky se zalévaly do bakelitu, hmota byla zvolena Multifast od firmy Stuers.



Obr. 11 Zapékání

4.2.2. Broušení

Při broušení se použilo pět druhů brusných papírů s jemnosti 500, 1000, 1500, 2000 a 4000. Vzorky byly broušeny vždy dvě minuty. Pro hrubost 500 a 1000 byl vzorek broušen dvakrát po sobě, u dalších brousících papírů byly zvoleny tři brusné operace současti z důvodu dosažení co nejjemnějšího povrchu. Během každé výměny brusného papíru musely být vzorky opláchnuty vodou, aby zbytková zrna z brusného papíru nezůstaly na povrchu vzorku.



Obr. 12 Broušení

4.2.3. Leštění

Po broušení následovalo leštění vzorku, které trvalo pět minut. Po leštění následovalo očištění lihem od leštící kapaliny. Poté vysušení horkým vzduchem z důvodu možného vzniku koroze, která by se mohla projevit při dalších měření a ovlivnila by výsledky měření.



4.3. Metodika měření

- Ø Vizuální hodnocení
- Ø Přilnavost
- Ø Tvrdost Zn povlaků
- Ø Tloušťka povlaku

4.3.1. Vizuální hodnocení

Jedná se o nedestruktivní metodu zkoušky, která je zaměřená na zjišťování celkového vzhledu povrchu, lesku (matnost, zobrazivost) a barvu povrchu pouhým okem, nebo pomocí speciálních přístrojů, či zařízení. Patří mezi rozhodující hodnocení vzhledové, dekorativní úrovně povlaku, ale posuzují průběh technologického procesu.

Celkový vzhled

Zahrnuje optické vlastnosti podstatné z hlediska dekorativního účinku povrchové úpravy, které nejsou přímo vyjádřeny pojmy. Představují mnohdy rozhodující, základní posouzení povlaku. Patří mezi ně především vizuální stejnorodost a optická izotropie povrchu.

Stejnorodost charakterizujeme místními, oku patrnými odchylkami vzhledu, kterými v praxi mohou být např. skvrny, místní vady a textury povrchu.

Náhlé změny, nepravidelné skvrny, pruhy, závoje s plynou nebo náhlou změnou se určují slovně se subjektivním výkladem.

Drobná, ostře ohraničená místa zřetelně odlišného vzhledu, jsou charakterizována slovním popisem s označením typu vady, popř. číselně počtem vad na jednotce plochy místní vady. Jsou:

- Ø bodového charakteru (póry, vměstky, kapky, prorezavění)
- Ø lineárního charakteru (trhliny, rýhy, odlupování povlaku)

Zákonitě se opakující, vesměs plošné, malé odchylky vzhledu se označují jako optická textura povrchu. Jsou charakterizovány slovně; textura je zásadně měřitelná a v řadě případů pozorovatelná objektivními, fotometrickými metodami za předpokladu dostatečné velikosti snímané plochy vůči textuře.



Vizuální vzhledová kontrola

Kontrola se zaměřuje na určení a posouzení optických nehomogenit povrchu, někdy anizotropie. Metoda není obecně jinými, objektivními metodami nahraditelná.

K hlavním výhodám patří možnost zavedení v menších provozech, zkušebnách bez vysokých nároků na investice a pracovní prostor a malými nároky na čas. K potížím při posuzování údajů získaných vizuální vzhledovou kontrolou patří jednak subjektivní odhad intenzity vady – úroveň značení „malé“, „slabé“, „výrazné“, v určení procenta plochy vad, a rovněž může zklamat při hodnocení pozvolných plynulých změn vzhledu kontrolované plochy.

Rozdělení a stanovení hodnocení optických změn:

- Ø místa bez povlaku, makroskopické póry průchozí (s omezením)
- Ø odlupující se (odtržený) povlak
- Ø trhliny, rýhy a rysy povlaku
- Ø makroskopické povrchové vměstky
- Ø puchýře a podpovrchové plynné vměstky (puchýře)
- Ø důlky v povlaku
- Ø ulpělé nečistoty na povrchu
- Ø průnik korozních zplodin základního materiálu povlakem
- Ø korozní zplodiny vlastního povlakového systému

Je nutné bezpodmínečně dodržet:

- Ø pracovní režim s přestávkami tak, aby nedocházelo k únavě zraku, zvláště je-li nutná kontrola pohybujícího se povrchu
- Ø stanovit přiměřenou adaptaci jasu pozorovatele
 - Ø osvětlení sledované plochy 400 až 2500 lx
 - Ø osvětlení okolí sledované plochy 500 až 1000 lx
- Ø stálé osvětlení co do intenzity i spektrálního složení (u pohybujícího se výrobku vadí někdy i zářivkové osvětlení napájené z třífázové sítě).

4.3.2. Přilnavost

Charakteristika

Přilnavost je značně závislá na předběžné přípravě povrchu základního materiálu – odmaštění, očištění a mikrogeometrii. Maximální přilnavost kovového povlaku je dosažena pokud zakotvený povlak má charakter difúzní slitinové mezivrstvy.

Přilnavost povlaku je definována jako souhrn adhezních i mechanických sil vztažených na jednotku plochy, kterým je povlakový systém poután k povrchu upravovaného výrobku (množství síly vyžadované k oddělení povlaku od podkladu). U kovových povlaků může dosáhnout přilnavost až hodnot blížících se pevnostem povlakového nebo základního materiálu.

Při stanovení přilnavosti povlaku se stanovuje:

- Ø Napětí v tahu, které je nutné vynaložit na destrukci spoje, působící kolmo na plochu spoje.
- Ø Síla potřebná k uvolnění spoje jednotné šířky nebo obnažení jednotkové plochy podkladu při postupném oddělování.
- Ø Odolnost, kterou klade povlak simulovaného zatěžování.

Typ měřicí metody se volí podle různých kritérií, kterými jsou např. tvar a velikosti výrobku, tloušťka povlaku. Další hlediska volby kontroly závisí na tom, zda jsou prováděny provozním či laboratorním měřítkem, u kterého se uplatňují náročnější metody.

Metoda Ohybu



Je určena pro kovové povlaky. Zkoumáme vzhled povlaku po pěti následných ohybech o 180° okolo normalizovaného válcového trnu průměru 8mm. Během zkoušky nesmí dojít k odloupení povlaku, vznik trhliny není významný. [9]

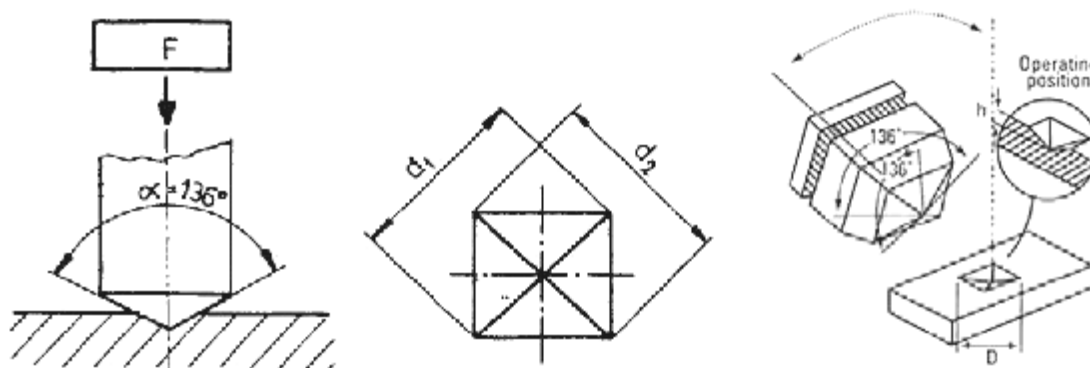
Obr. 13 Metoda ohybu

4.3.3. Tvrdost Zn povlaků – Vickersova metoda

Tvrdost definujeme jako odolnost materiálu (povrchu materiálu v měřené lokalitě) proti místní deformaci vyvozené konkrétním zatěžovacím tělesem (vnikajícím tělesem – indektorem) přesného geometrického tvaru působením přesně definovaného zatížení. Mírou tvrdosti je konkrétní velikost trvalé plastické deformace.

Makrotvrdost

Podstata zkoušky spočívá ve vnikání tělesa ve tvaru pravidelného čtyřbokého jehlanu se čtvercovou základnou a daným vrcholovým úhlem 136° , které je mezi protilehlými stěnami vtlačováno do povrchu zkušebního tělesa. Následně je měřena úhlopříčka vtisku, která zůstane po odlehčení zkušebního tělesa. U kovových povlaků s malou tloušťkou (do $100\ \mu\text{m}$) se stanovuje při menších zatěžovacích silách ($HV_{0,1\ \text{max.}}$)



Obr. 14 Vickersova metoda

Vzhledem k nutnosti velmi přesného měření úhlopříček vtisku musí být zajištěn přesný tvar vnikajícího tělesa (indentoru). Všechny čtyři stěny jehlanu musí být vzhledem k ose vnikajícího tělesa skloněny pod stejným úhlem (úhly se mohou lišit nejvýše o $0,5^\circ$) a musí se protínat v jednom bodě; délka společné hrany mezi dvěma protilehlými stěnami nesmí přesáhnout $0,5\ \mu\text{m}$. [5]

Mikrotvrdosti

V tomto případě je měření tvrdosti realizováno vtlačováním diamantového tělesa tvaru Vickersova nebo Knoopova jehlanu do povrchu měřeného tělesa silami v rozsahu od 1g ($0,09807\ \text{N}$) do 1000g ($9,807\ \text{N}$). Zatímco běžné zkoušky (makro)tvrdosti podle Vickerse jsou prováděny při zatíženích mezi 10 a $1200\ \text{N}$.



Protože vtisky při zkoušení mikrotvrlosti jsou malé, je použití této metody vhodné pro:

- Ø malé nebo tenké součásti;
- Ø měření tvrdosti malých, vybraných oblastí zkušebního vzorku;
- Ø měření mikrotvrlosti strukturních složek a fází;
- Ø hodnocení vrstev po chemicko-tepelném zpracování;
- Ø měření tvrdosti velmi tenkých kovových a jiných anorganických povlaků;
- Ø hodnocení svarových spojů;
- Ø pro hodnocení oduhlčujících procesů;
- Ø studium difúzních pochodů;
- Ø měření křehkých materiálů;

$$HV = 0,102 \cdot \frac{2 \cdot F \cdot \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0,1891 \cdot \frac{F}{d^2} \quad (1)$$

Zkušební těleso

Při měření tvrdosti při nízkém zatížení a při mikrotvrlosti musí být umožněno přesné měření úhlopříček vtisku. Hodnocený zkušební vzorek musí mít hladký a rovný povrch, bez okují, mazadel a cizích tělísek. Hodnocený vzorek se tedy připravuje jako metalografický výbrus, tzn. nesmí dojít k deformačnímu nebo tepelnému ovlivnění povrchu. Běžně se příprava provádí broušením za mokra a leštěním na diamantových pastách, případně elektroleštěním. Přesná metodika přípravy vzorku se volí dle příslušného materiálu. Tloušťka zkušebního tělesa nebo vrstvy musí být nejméně 1,5násobek délky úhlopříčky vtisku.

Provedení zkoušky

Zkušební těleso musí být uloženo na tuhé podložce, tak aby se během zkoušky nepohnulo. Vnikající těleso (indentor) se zatlačuje do zkušebního tělesa zkušebním zatížením směřujícím kolmo k jeho povrchu. Doba od počátku zatěžování až do jeho plné hodnoty nesmí být menší než 2 s a větší než 8 s. Tato doba nesmí u zkoušky u tvrdosti při nízkém zatížení a zkoušky mikrotvrlosti nesmí překročit 10 s a současně nesmí rychlost zatěžování překročit 0,2 mm/s. Doba plného zkušebního zatížení musí být v rozmezí 10 až 15 s.

Jednotlivé vtisky musí být umístěny tak, aby byla splněna podmínka, že vzdálenost středů dvou sousedních vtisků musí být nejméně 3násobek průměrné hodnoty úhlopříček vtisku (pro ocel, měď a slitiny mědi) a nejméně 6násobek v případě lehkých kovů, olova, cínu a jejich slitin. Vzdálenosti středů každého vtisku od okraje zkušebního vzorku musí být nejméně 2,5násobek průměrné hodnoty úhlopříček vtisku (pro ocel, měď a slitiny mědi) a nejméně 3násobek v případě lehkých kovů, olova, cínu a jejich slitin.

4.3.4. *Tloušťka povlaku*

Charakteristika

Tloušťka povlaku je určena jako vzdálenost mezi povrchem povlaku a jeho fázovým rozhraním se základním materiálem.

Rozdělují se podle určení:

- Ø Místní změřená obvykle na ploše do max. Ø 3,5 mm s výjimkou uplatnění dvoupólového snímače, který udává střední hodnotu měřenou mezi oběma póly
- Ø Průměrná, která se zjišťuje na velké ploše povrchu

Podle typu povlaku:

- Ø jednovrstvého povlaku
- Ø vícevrstvého povlaku vytvořeného
 - Ø několika vrstvami materiálu různého typu (např. Cu / Ni / Cr)
 - Ø několika vrstvami téhož materiálu (např. duplex Ni, nátěry)
- Ø slitinového povlaku vytvořeného slitinovou kombinací (např. Pb-Sn, Pb-Sb)

Podle provedení zkoušky:

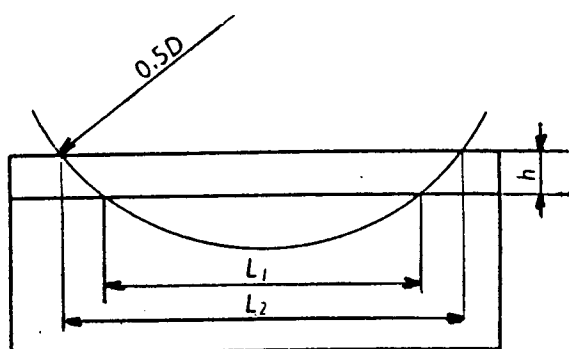
- Ø Destruktivní metody
 - Ø Chemická
 - Ø Elektrochemická
 - Ø Mechanická

Ø Nedestruktivní metody

- Ø Magnetická
- Ø Elektromagnetická
- Ø Vřivých proudů
- Ø Izotopová
- Ø Termoelektrická
- Ø Průrazného napětí

Metoda výbrusu

Tloušťka se určuje přímým odečtením na mikroskopu při sledování profilu povrchu v řezu. Metalografický výbrus se dělá jako příčný výbrus (vzorky se brousí kolmo k povrchu měřeného místa), dále šikmý výbrus (vzorky se brousí v odklonu $\alpha \sim 2^\circ$).



Obr. 15 Metoda výbrusu

zvýraznění rozhraní mezi základem a povlakem je plocha výbrusu naleptaná.

Nejpřesnější metoda (maximální chyba $\pm 1 \%$) závisí na přípravě vzorku a provedení metalografického výbrusu. Vzorek určený k měření je vyříznut z výrobku. Měřené místo se chrání ocelovou planžetou nebo pokovením. Vzorek se uchytí zalitím do plastu. Postupným broušením a leštěním je povrch v místě řezu vyhlazen. Ke



4.3.5. *Odolnost proti korozi v solné mlze*

K urychleným korozním i atmosférickým zkouškám jsou používány převážně vzorky a díly pro automobilový průmysl s povrchovou úpravou u galvanických nebo jiných výrobních linek. Pro urychlení odolnosti povlaků proti korozi se ověřuje pomocí zkoušek v neutrální solné mlze dle normy ČSN EN ISO 9227.

Pro zkoušení těchto typů povlaků jsou specifikovány režimy urychlené zkoušky:

- zkouška v neutrální solné mlze v chloridu sodného při teplotě 35°C
- doba zkoušky probíhala 24 a 48 hodin

K hodnocení u urychlených zkoušek se využívá pouze vizuální hodnocení exponovaných povrchových úprav. Po uběhnutí 24 hodin nebyly znatelné známky koroze u žádného typu povlaku, proto se nezaznamenávali.

Postup probíhající koroze jednotlivých typů vzorku po 48 hodinách jsou zaznamenány pomocí fotografií 42 – 47.

4.3.6. Otěruvzdornost – Kulotestr



Obr. 16 Kulotestr

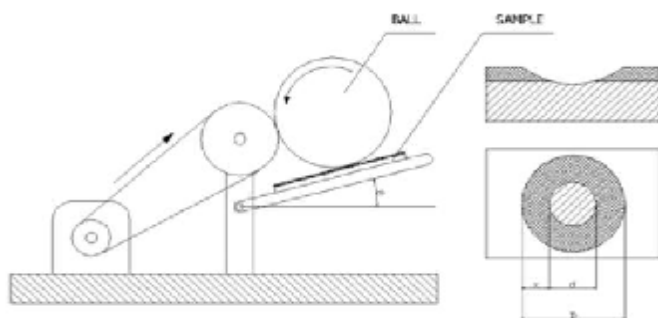
jednu z nejlepších metod zjištění abraze.

Kulotestr nám slouží pro měření abraze obzvlášť na tenkých vrstvách, která se posléze vyhodnotí na optickém mikroskopu. Pomocí kuličky, která nám vytvoří konickou část (kulovitou část). Kónická část nám dovolí vypočítat tloušťku povlaku.

Abrazi provádíme pomocí několika po sobě jdoucích testů s různým zatížením zkoušeného vzorku, který nám poskytne

Postup měření

Jednotlivé vzorky byly vystavovány postupným zatížením 50, 100, 150, 200, 250 a 300 otáček, kuličkou o průměru 25 mm. Po každém vzorku vyměníme kuličku, kterou nejprve očistíme lihem z důvodu zakonzervování v oleji, který by nám změnil tření mezi kuličkou a zkušebním vzorkem.



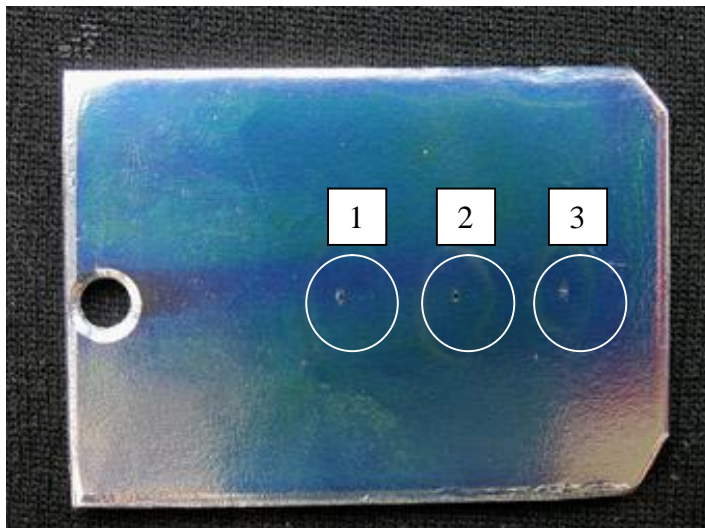
Obr. 17 Schéma Kulotestru

vytvoření ochranného povlaku a tím i tvrdosti, který při galvanování vzniká, muselo být použito ke každému měření pět stejných druhů vzorků. Na těchto vzorcích se opakovalo totožné zatížení. Naměřené hodnoty při stejných otáčkách se zprůměrují a zapíší do tabulky 6. Práce musí být prováděna v ochranných rukavicích, aby na vzorky nebyly naneseny nečistoty.

Po provedení otěru vzorky zvážíme, jednotlivé váhy zapíšeme a u méně patrných vzorků označíme místo abraze. Již v průběhu jednotlivých zatížení můžeme pozorovat různý otěr.

Z důvodu nerovnoměrného

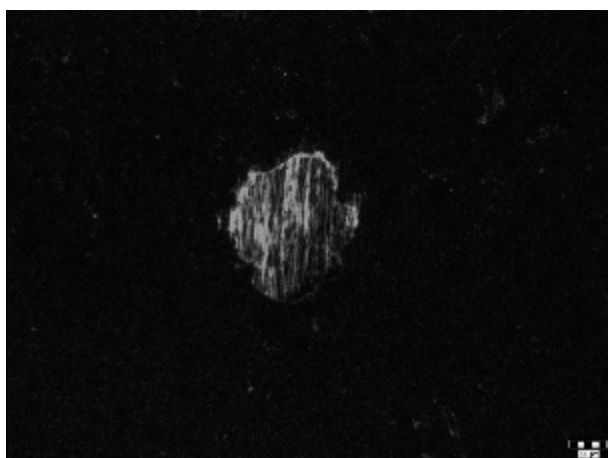
Dokumentace zkoušky



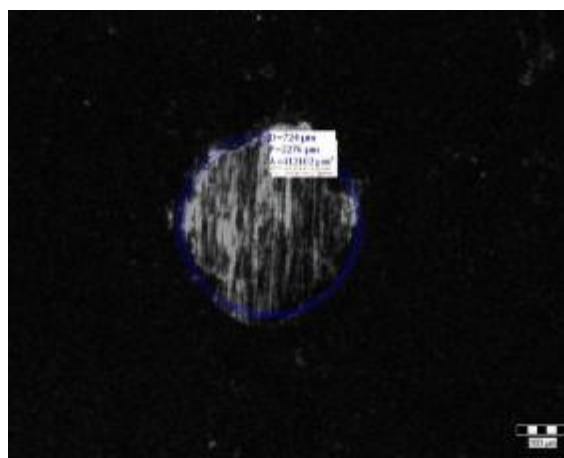
Obr. 18 Vzorek C642s viditelnými stopy po kulotestru

Na každém vzorku byly vytvořeny vždy tři druhy otěru, které se označovaly čísla od jedné do šesti podle zatížení. Místa otěru byla zvýrazněna.

Výpočet Tloušťky vrstvy



Obr. 19 Abrazé na vzorku



Obr. 20 Zjištění průměru, plochy, obvodu

Pomocí zkušebního zařízení a počítače zjistíme jednotlivé rozměry kulovité části, vytvořené kulotestrem na vzorku. Z těchto hodnot poté vypočítáme pomocí vzorců otěr povlaku h.

$$h = \frac{D - \sqrt{(D^2 - L^2)}}{2} \quad (2)$$

Příklad výpočtu

$$h = \frac{D - \sqrt{(D^2 - L^2)}}{2} = \frac{25 - \sqrt{(25^2 - 0,5433^2)}}{2} = 0,00295mm = \underline{\underline{2,95mm}}$$

- další výpočty jsou uvedeny v tabulce 6

Zkušební zařízení

Jednotlivé experimenty (tvrdost, tloušťka, přilnavost, abraze) a fotografie k nim pořízené byly dokumentovány a hodnoceny pomocí zkušebního zařízení Neophot 21.



Obr. 21 Zkušební zařízení

5. Vyhodnocení experimentů

Jednotlivé druhy zkoušek byly zaznamenány pomocí fotografií, tabulek a výpočtů naměřených výsledků, na kterých lze pozorovat postupné změny detailně.

5.1. Vizuální hodnocení

I. C610:



- matný vzhled, který způsobilo nedostatek leskutvorných přísad – lázeň byla před renovací
- značně patrné známky map povlaku
- vzhled byl také ovlivněn místem umístění matici lázně

Obr. 22 Dodaný stav C610

I. C640:



- stříbřitě lesklý
- čistý hladký povrch bez známek puchýřů, map

Obr. 23 Dodaný stav C640

III. C642:



- vysoký lesk
- modravě iridystantní
- čistý hladký povrch bez známek puchýřů, map

Obr. 24 Dodaný stav C642

5.2. Zkouška odolnosti povlaku ohybem o 90°



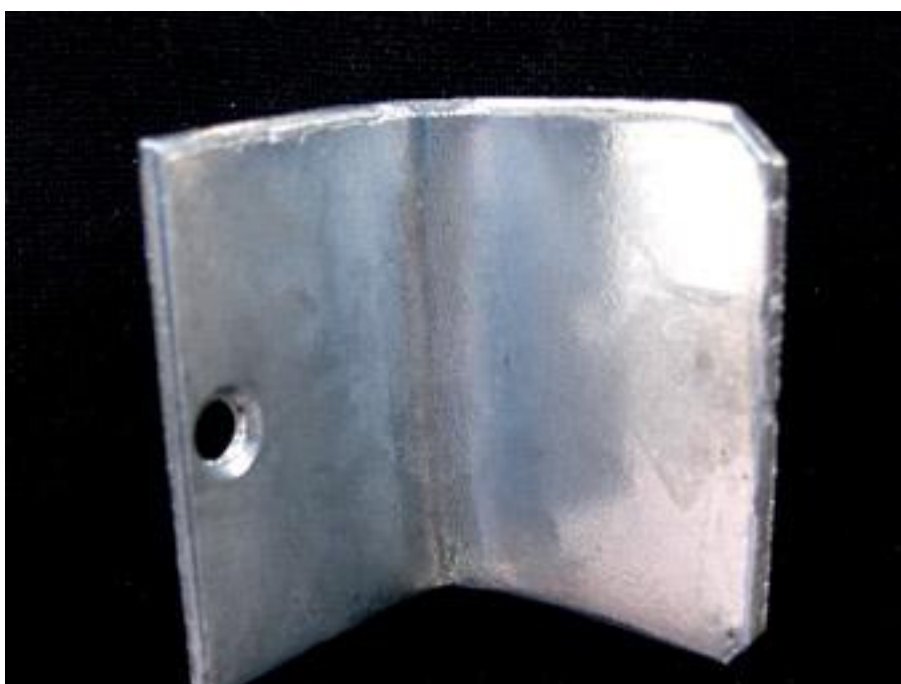
Obr. 25 Po prvním cyklu došlo k popraskání povlaku na hraně



Obr. 26 Po druhém cyklu došlo k odloupenutí povlaku na hraně



***Obr. 27** Během dalšího cyklu se povlak plasticky deformoval v místě ohybu*

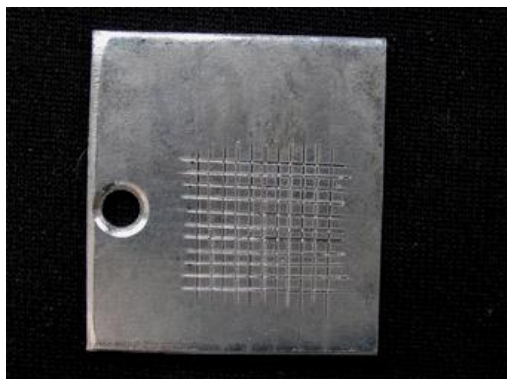


***Obr. 28** Během dalšího cyklu se povlak plasticky deformoval v místě ohybu*

- vzorek jsme vystavovali jednotlivým po sobě jdoucím ohybům
- po sedmém ohybu došlo k celkovému rozlomení vzorku

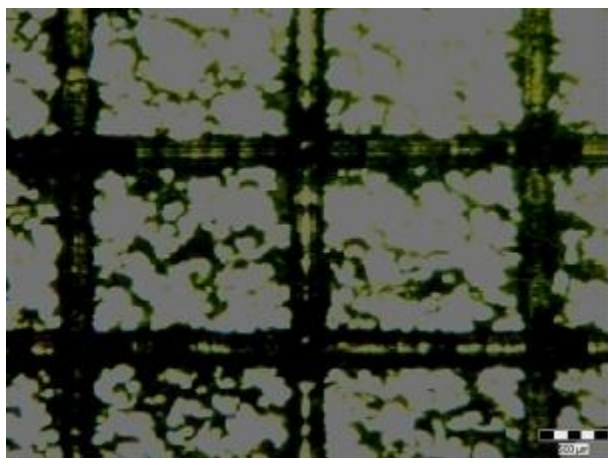
5.3. Alternativní aplikace mřížkové zkoušky, pro stanovení kvality přilnavosti

I. C610:

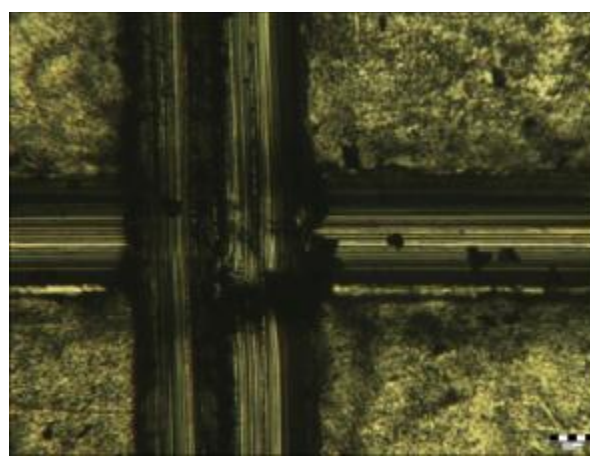


- čtverečky pevně lpí na podkladu, okraje řezu jsou ostré a hladké
- klasifikace 0

Obr. 29 Vzorek s mřížkou

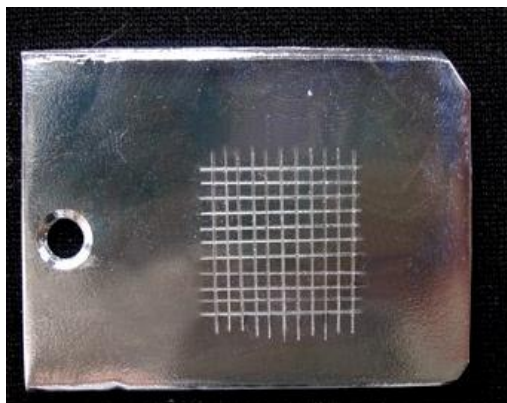


Obr. 31 Mřížka při desetinásobném zvětšení



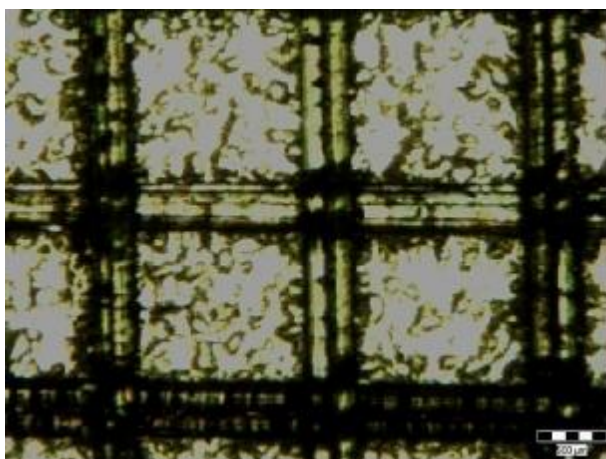
Obr. 30 Mřížka při padesátinásobném zvětšení

II.C640:

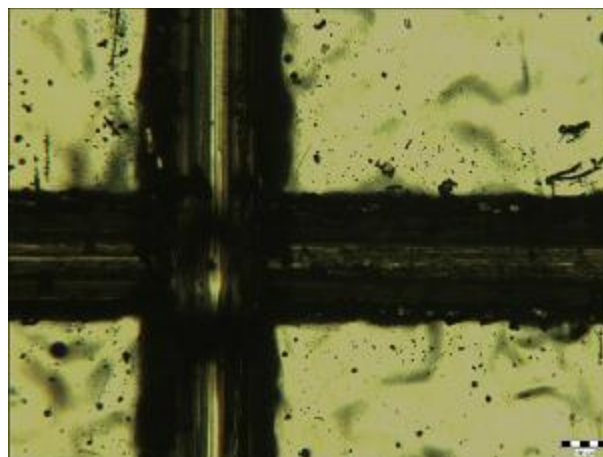


- čtverečky pevně lpí na podkladu, řezy jsou zcela hladké, žádný čtverec není poškozen
- klasifikace 0

Obr. 32 Vzorek s mřížkou

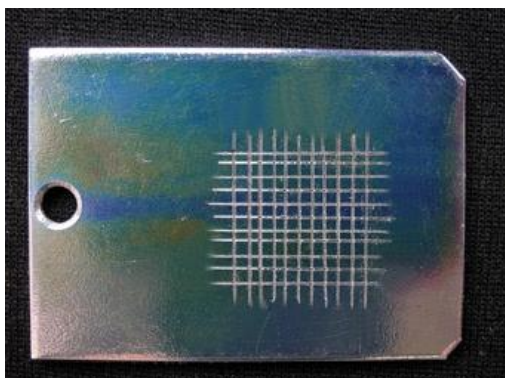


Obr. 34 Mřížka při desetinásobném zvětšení



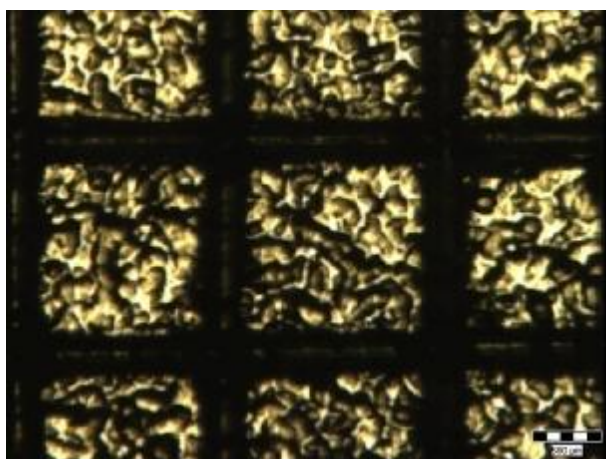
Obr. 33 Mřížka při padesátiprocentním zvětšení

III. C642:

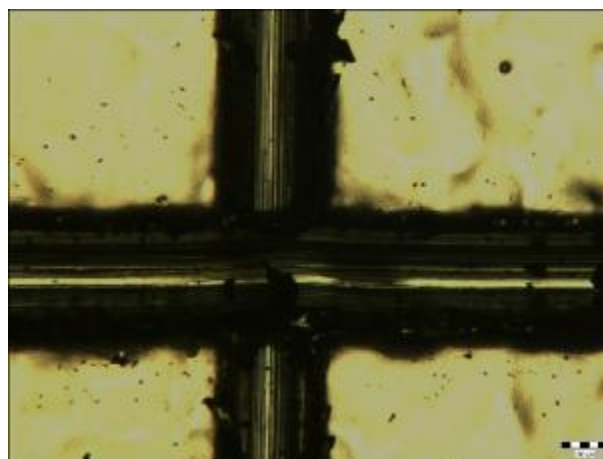


- čtverečky pevně lpí na podkladu, řezy jsou zcela hladké, žádný čtverec není poškozen
- klasifikace 0

Obr. 35 Vzorek s mřížkou



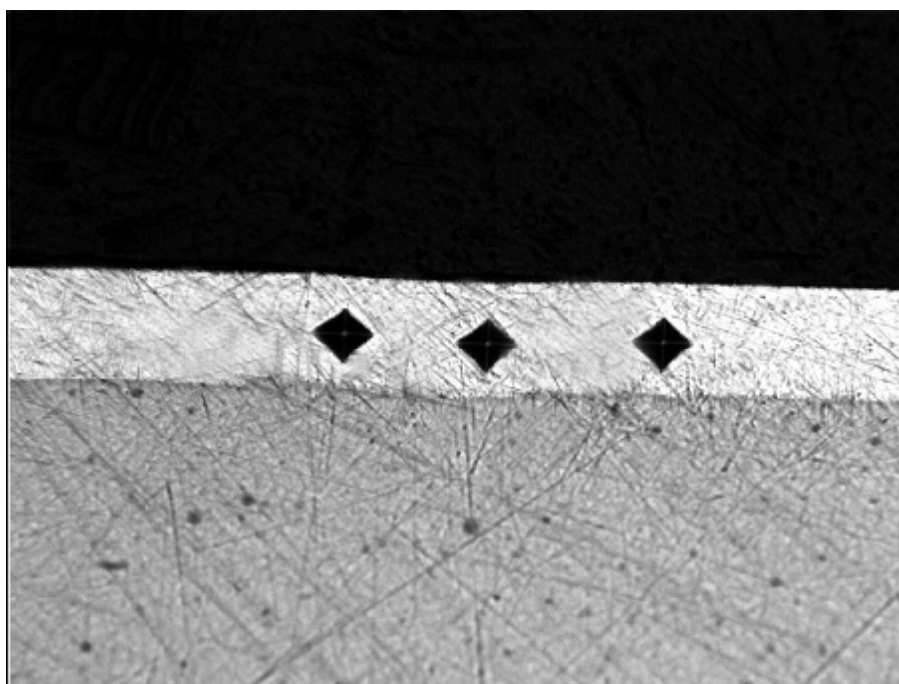
Obr. 37 Mřížka při desetinásobném zvětšení



Obr. 36 Mřížka při padesátinásobném zvětšení

5.4. Měření tvrdosti

- měření tvrdosti povlaku bylo provedeno u vzorku C642 (viz obrázek 38),
- z důvodu získání přesných hodnot tvrdosti povlaku byly vytvořeny tři po sobě jdoucí vpichy, po zprůměrování těchto tří vpichů byla zjištěna tvrdost povlaku 39HV
- naměřené hodnoty ukazuje Tabulka 3.



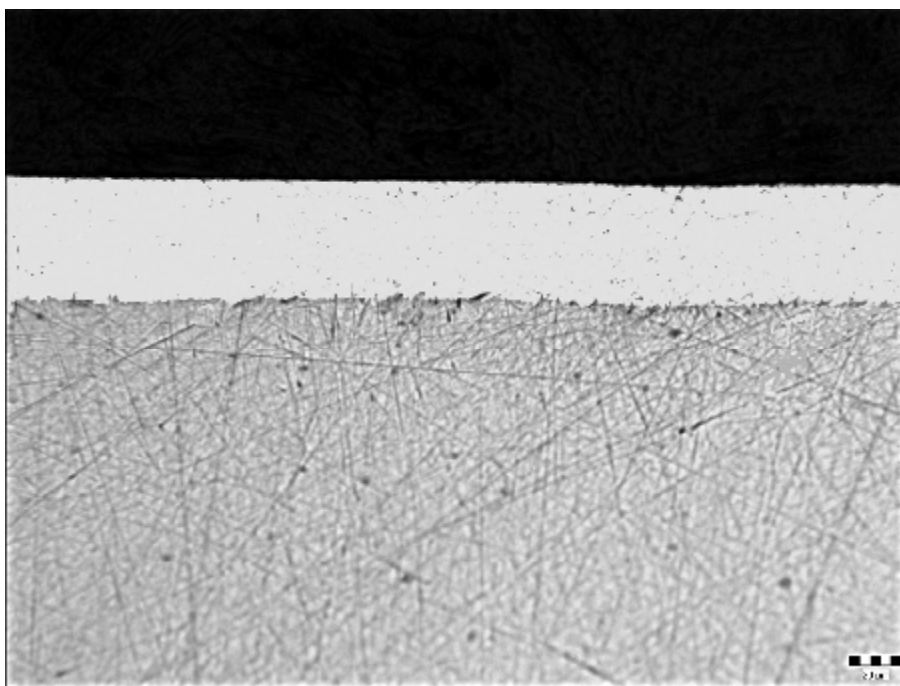
Obr. 38 Povlak s vpichy

<i>Vpichy</i>	<i>Tvrdost</i>
Vpich 1	39 HV
Vpich 2	38 HV
Vpich 3	40 HV
	39HV

Tab. 3. Naměřené hodnoty

5.5. Měření tloušťky

I. C610:



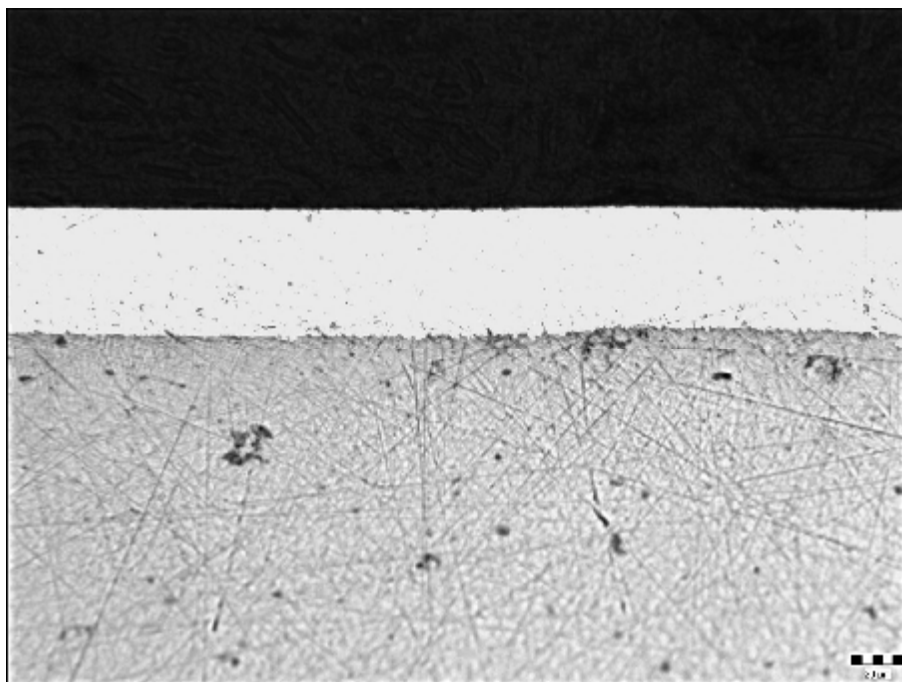
Obr. 39 Povlak při dvounásobném zvětšení

<i>Typ objektu</i>	<i>Druh měření</i>	<i>Číslo měření</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotky</i>	<i>Statistiky</i>		
Úsečka	Délka	1	46	μm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	43	μm	Počet měření	3	
Úsečka	Délka	3	43	μm	Sřední hodnota	44	μm
Sm. odchylka						1,4	μm

Tab. 4. Naměřené hodnoty

- Sřední hodnota tloušťka povlaku na vzorku C610 je 44 μm

II. C640:

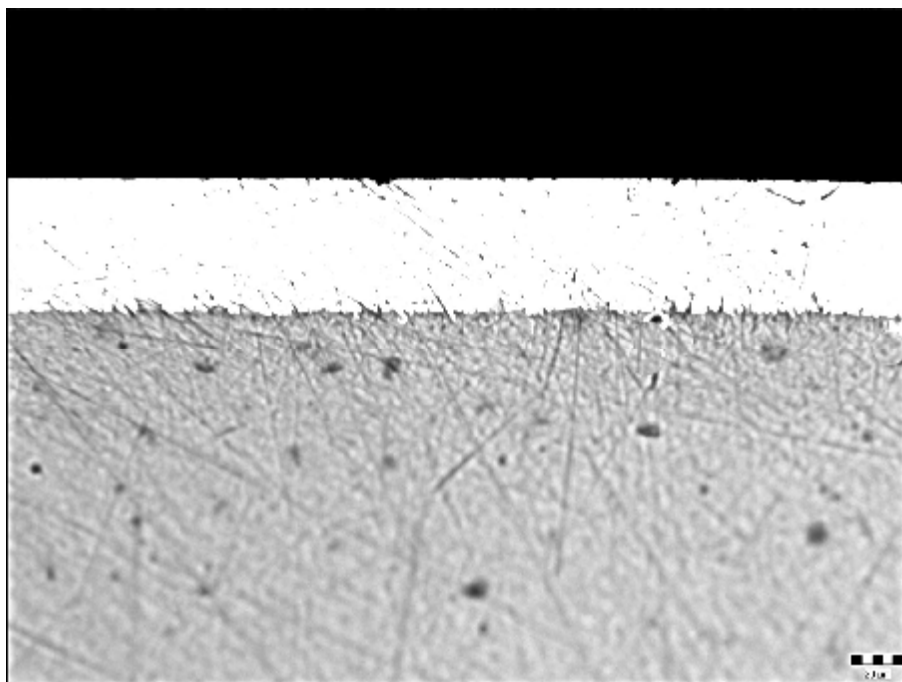
**Obr. 40** Povlak při dvounásobném zvětšení

<i>Typ objektu</i>	<i>Druh měření</i>	<i>Číslo měření</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotky</i>	<i>Statistiky</i>		
Úsečka	Délka	1	47	μm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	49	μm	Počet měření	3	
Úsečka	Délka	3	49	μm	Střední hodnota	48,3	μm
Sm. odchylka						0,9	μm

Tab. 5. Naměřené hodnoty

- Střední hodnota tloušťka povlaku na vzorku C640 je 48,3 μm

III. C642:

*Obr. 41 Povlak při dvounásobném zvětšení*

<i>Typ objektu</i>	<i>Druh měření</i>	<i>Číslo měření</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotky</i>	<i>Statistiky</i>		
Úsečka	Délka	1	47	μm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	46	μm	Počet měření	3	
Úsečka	Délka	3	44	μm	Sřední hodnota	45,7	μm
Sm. odchylka						1,2	μm

Tab. 6. Naměřené hodnoty

- Střední hodnota tloušťka povlaku na vzorku C642 je 45,7 μm

5.6. Průběh koroze v solné mlze po 48 hodinách

I. C610:



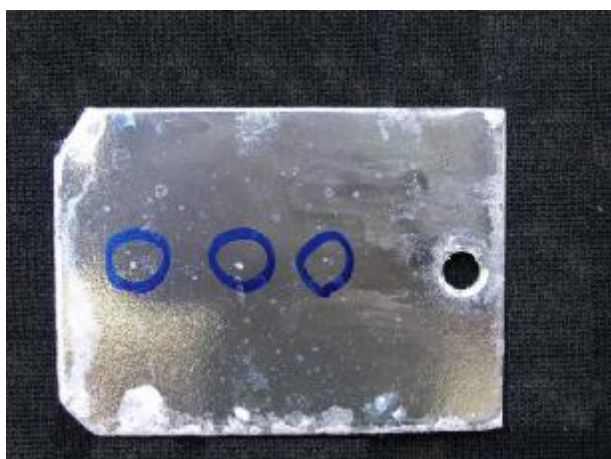
Obr. 42 Vzorek C610 v solné mlze
50, 100, 150 otáček



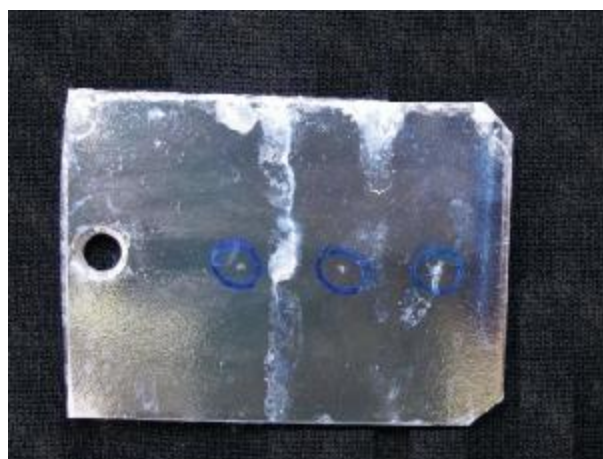
Obr. 43 Vzorek C610 v solné mlze
200, 250, 300 otáček

- U vzorku C610 probíhala silná Zn koroze, proto nelze hodnotit korozní odolnost v místech opotřebení
- docházelo ke stékání Zn koroze na hranách vzorku – objemová koroze

II. C640:



Obr. 44 Vzorek C640 v solné mlze
50, 100, 150 otáček

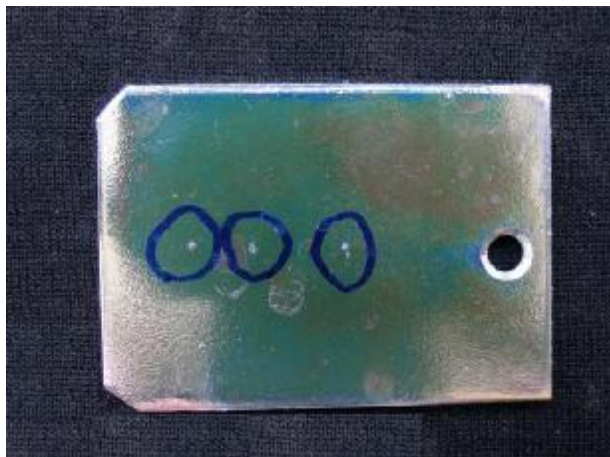


Obr. 45 Vzorek C640 v solné mlze
200, 250, 300 otáček

- U vzorku C640, byla viditelná koroze na hranách zkušební vzorku

- po 300 otáčkách se koroze vyskytla u Zn v místě opotřebení

III. C642:



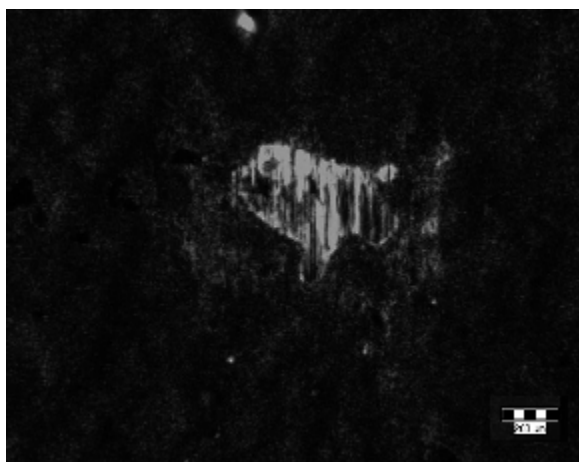
Obr. 46 Vzorek C642 v solné mlze
50, 100, 150 otáček



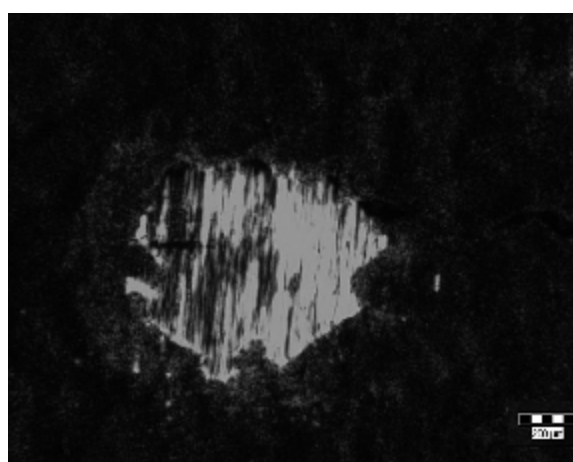
Obr. 47 Vzorek C642 v solné mlze
200, 250, 300 otáček

- u vzorku C642 nevykazoval vzorek žádné známky koroze v místech opotřebení Zn povlaku otáčkami 50, 100, 150
- známky Zn koroze se částečně vyskytli u snížení Zn povlaku 200, 250, 300 otáčkami

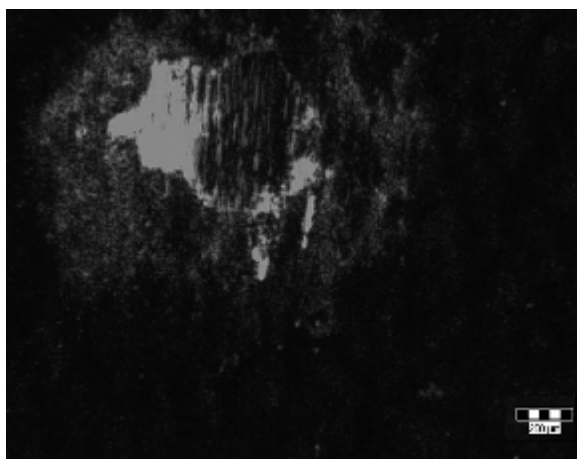
5.7. Dokumentace stop opotřebení v návaznosti na otáčky zkušebního tělíska
I. C610:



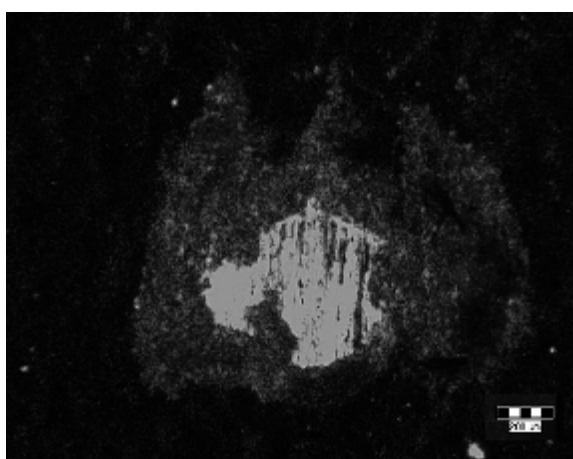
Obr. 48 50 otáček



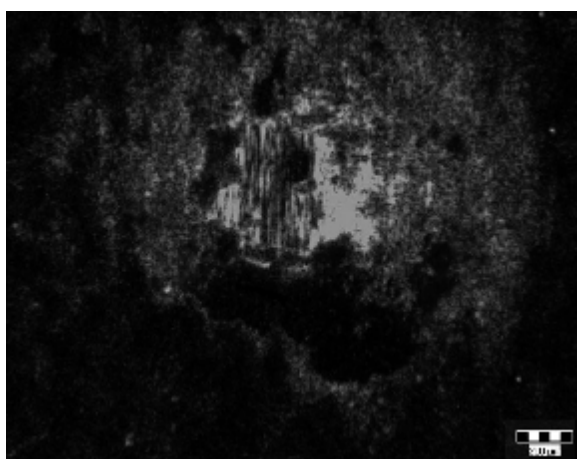
Obr. 49 100 Otáček



Obr. 50 150 otáček



Obr. 51 200 otáček

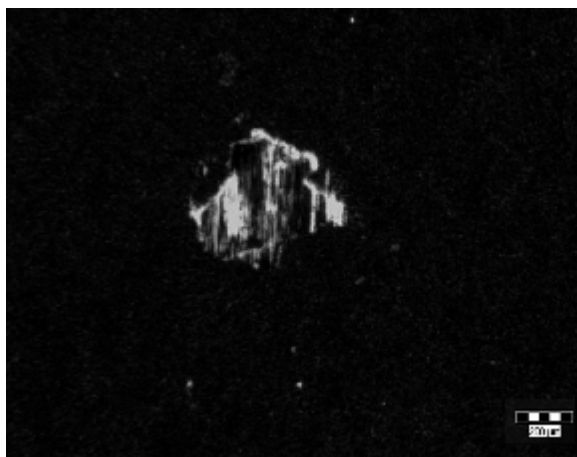


Obr. 52 250 otáček

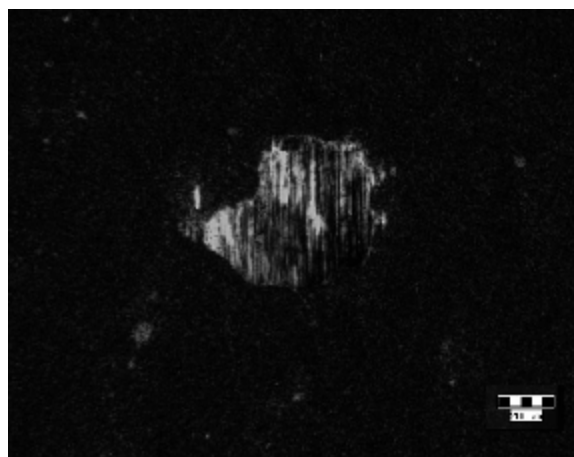


Obr. 53 300 otáček

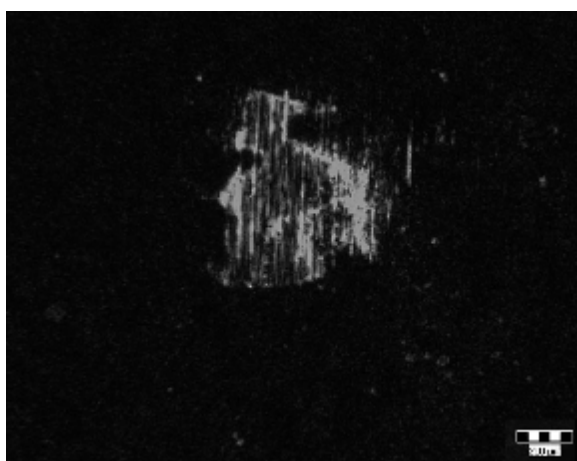
II. C640:



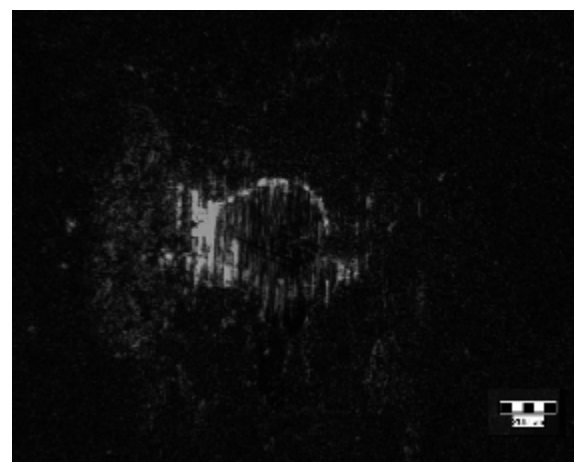
Obr. 54 50 Otáček



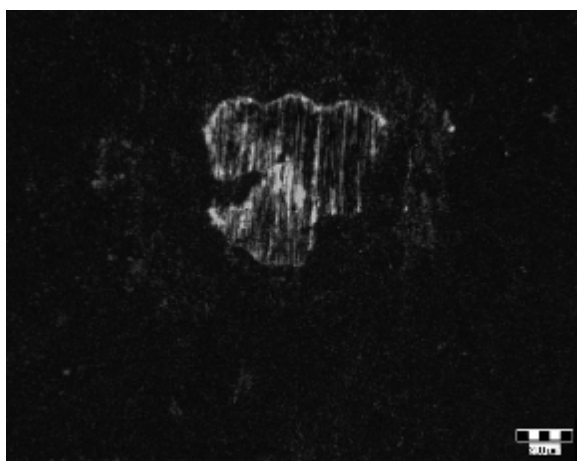
Obr. 55 100 otáček



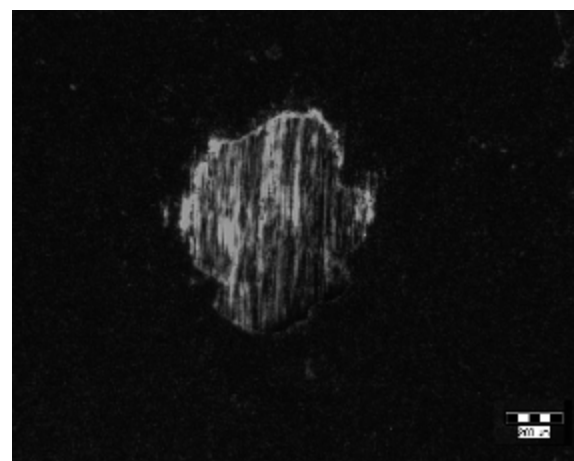
Obr. 56 150 otáček



Obr. 57 200 otáček

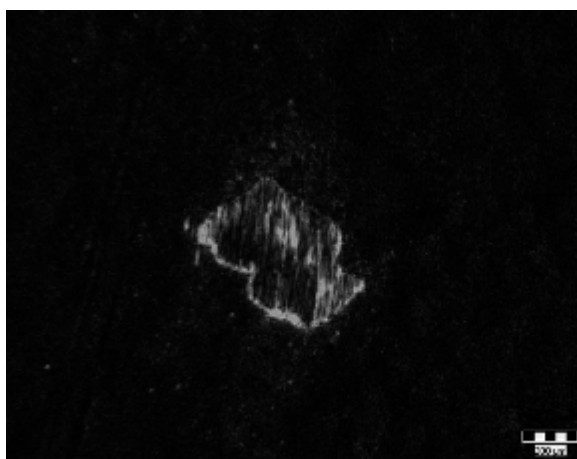


Obr. 58 250 otáček

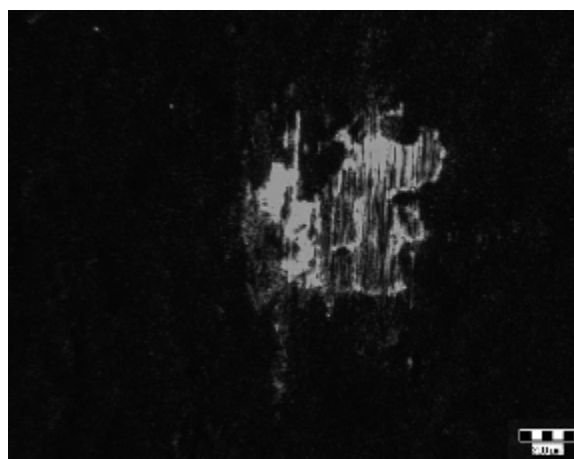


Obr. 59 300 otáček

III. C642:



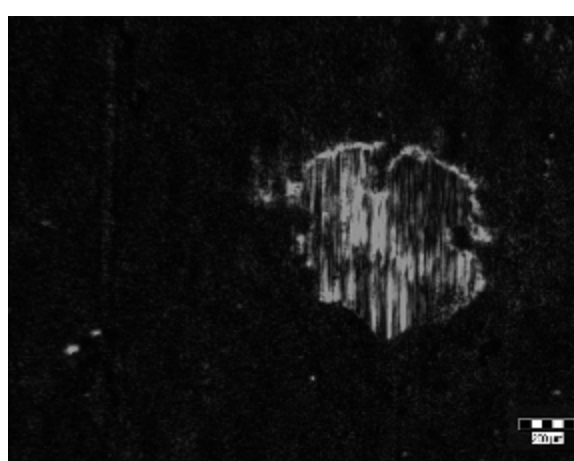
Obr. 60 50 otáček



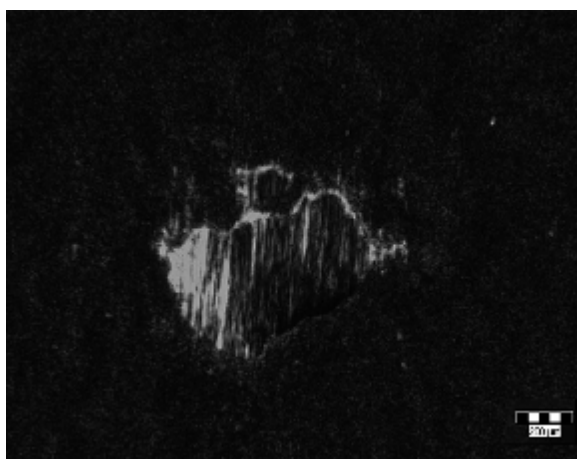
Obr. 61 100 otáček



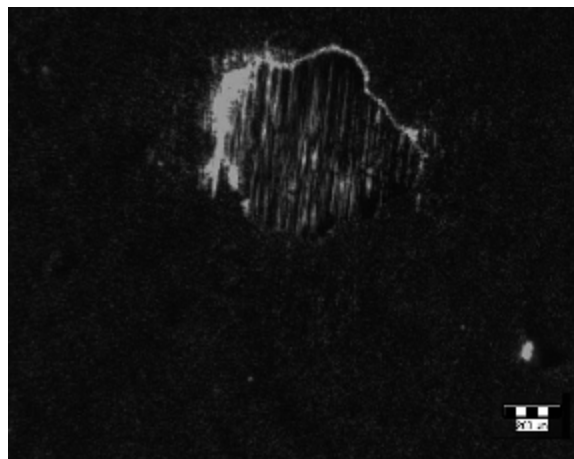
Obr. 62 150 otáček



Obr. 63 200 otáček



Obr. 64 250 otáček



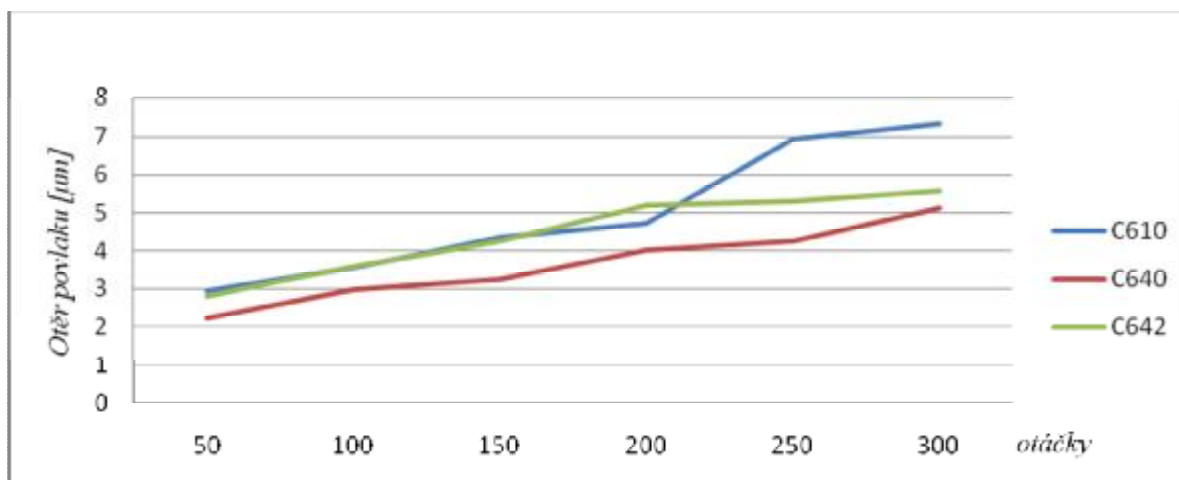
Obr. 65 300 otáček



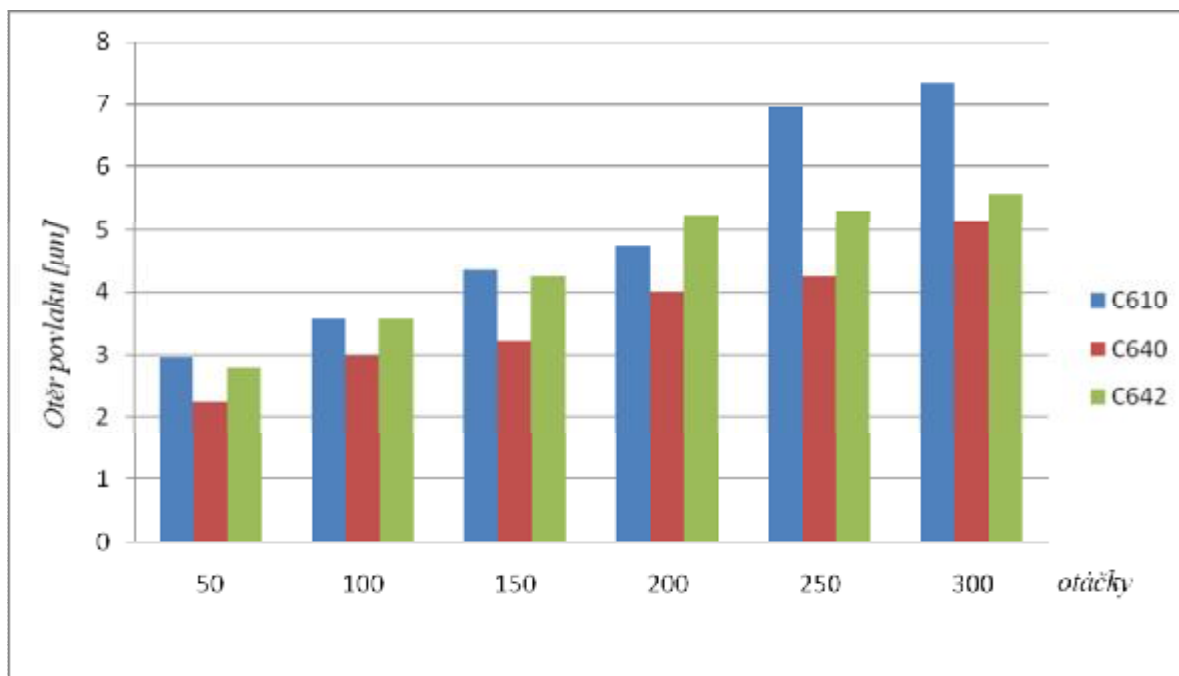
Výsledky naměřených hodnot pro jednotlivé kyselé zinkové lázně:

<i>Vzorek:</i>	<i>Otáčky</i>	<i>Průměr kuličky [mm]</i>	<i>Průměr [mm]</i>	<i>Plocha [μm²]</i>	<i>Obvod [μm]</i>	<i>Otěr povlaku [mm]</i>	<i>Otěr povlaku [μm]</i>
C610	50	25	0,5433	232482	1707	0,002952	2,952
	100	25	0,5973	280433,7	1876,7	0,003568	3,568
	150	25	0,6887	372526,7	21,63	0,004744	4,353
	200	25	0,6597	341720,7	2071,7	0,004353	4,744
	250	25	0,8337	545890	2619,3	0,006952	6,952
	300	25	0,5163	210056,7	1622,7	0,002666	7,346
C640	50	25	0,473	176018,3	1485,7	0,002237	2,237
	100	25	0,5473	235562,7	1720	0,002996	2,966
	150	25	0,651	333289,3	2045,7	0,004239	3,23
	200	25	0,5683	256052,7	1785,3	0,003230	4,004
	250	25	0,6327	315971,7	1987	0,004004	4,239
	300	25	0,7157	402430,7	2247,7	0,005123	5,123
C642	50	25	0,597	280230,7	1876,3	0,003565	2,796
	100	25	0,5287	219784,7	1661,3	0,002796	3,565
	150	25	0,6513	333229	2046	0,004243	4,243
	200	25	0,7217	409453	2267,3	0,005210	5,21
	250	25	0,728	416151	2287	0,005301	5,301
	300	25	0,7257	413871	2280,3	0,005268	5,568

Tab.7. Naměřených hodnot



Graf 1. Závislost otěru na otáčkách C610, C640, C642



Graf 2. Závislost otěru na otáčkách



6. Závěr

V bakalářské práci je popsán princip kyselých zinkových lázní, jejich vlastnosti, složení a použití zařízení. Jsou provedeny jednotlivé zkoušky, které se provádí u galvanických povlaků. V experimentální části bylo uskutečněno několik zkoušek u vzorků C610, C640 a C642, které jsme postupně vyhodnocovali.

Z vizuálního hlediska se nejlépe jevil vzorek C642, který měl čistý, hladký povrch s rovnoměrným leskem oproti povlaku C610, který měl matný, nerovnoměrný povlak, který vytvářel mapy. U zkoušky ohybu o 90° bylo již při prvním ohybu patrné popraskání povlaku zejména na krajích místa ohybu. Při dalších ohybech již docházelo k celkovému popraskání, což svědčí o velké náchylnosti povlaku, která je způsobena vysokou tvrdostí. Při zkoušce přilnavosti se u kovových povlaků volí hodnocení 0, povlaky mřížky byly ostré, lpěly pevně na povrchu s minimálními otřepy. Tloušťky povlaků se pohybovaly od 44 do 48,3 μm . Největší tloušťka byla vytvořena na vzorku C640 a nejmenší se dosáhlo u vzorku C610. Tvrdost povlaku byla provedena pouze u jednoho vzorku, protože se předpokládá, že se tvrdost u všech druhů kyselých lázní bude pohybovat ve stejném rozmezí. Průměrná tvrdost dosahovala 39 HV. V solné mlze byl nejodolnější vzorek C642 se silnou pasivací, u kterého se koroze po 48 hodinách projevila jen v místě snížení Zn povlaku u 200, 250 a 300 otáčkami. U zkoušky odolnosti proti abrazi byly zdokumentovány jednotlivé otěry pomocí fotografií. Z přiložené tabulky 6 můžeme vyčíst průměr, velikost plochy, obvod a samotný otěr při jednotlivých otáčkách. Z přiložených grafů je zřetelně nejodolnější povlak C640. Proti abrazi se nejvíce vzdaloval vzorek C610, při otáčkách 250 a 300 došlo ke značně velkému odchýlení od ostatních hodnot.

V průběhu provedení jednotlivých zkoušek bylo dobře zřejmé, že každý druh vzorku byl odolnější vůči jiné zkoušce a naopak také náchylnější k jinému druhu zkoušky. Oproti alkalickým lázním, na kterých prováděl zkoušky kolega Hampl, bylo dosahováno mnohem lepších výsledků než u kyselých lázní.



7. Seznam použité odborné literatury

- [1] VDOVCOVÁ, Z., *Vyjádření k žádosti o vydání integrovaného povolení MEP Galvanovna, a.s.* vyd. Praha, 2007.
- [2] MEP POSTŘELMOV, a.s. – profil společnosti [online] Dostupný z WWW: < <http://www.mep.cz/historie.htm> >
- [3] RUMML, V., SOUKUP, M. *Galvanické pokovování*. vyd. Praha: SNTL, 1981.
- [4] CYRUS, Z., CHOCHOLOUŠEK, J., KRISTOFORY, F. A VÍTEK, J. *Kurz galvanizérů 1*.
- [5] DOLEŽAL, P., PACAL, B. *Hodnocení mikrotvrdosti struktur materiálů*. vyd. FS - VUT Brno Ústav materiálových věd a inženýrství
- [6] *Učební texty a návody do cvičení. 1.* vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996, 144 s.
- [7] KRISTOFORY, F., SZELAG, P., TAITLOVÁ, J. a ŠULC, I. *Kurz galvanizérů 2*.
- [8] *Učební texty a návody do cvičení. 1.* vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996, 108 s.
- [9] PRŮŠEK, J. a kol. *Hodnocení jakosti a účinnosti protikorozních ochranných prostředků strojírenských výrobků*. Praha: SNTL, 1985, 288 s.
- [10] BARTL, D.O., MUDROCH, O. *Technologie chemických a elektrochemických povrchových úprav. I. díl*. Praha, SNTL, 1956, 448 s.